

032405

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2003 年 10 月 23 日 (23.10.2003)

PCT

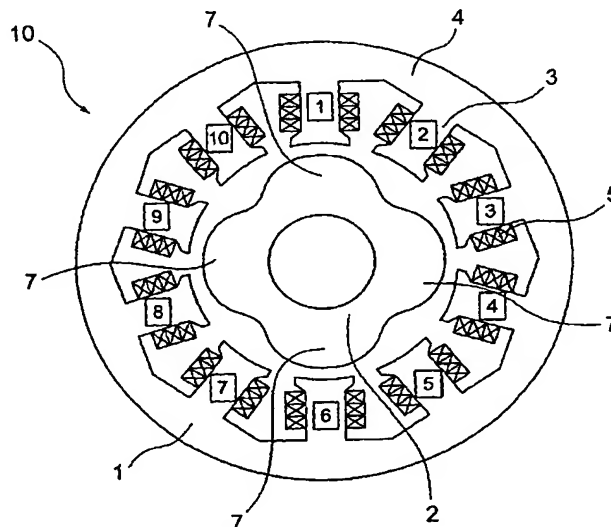
(10) 国際公開番号  
WO 03/087728 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G01D 5/245 KAISHA) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP03/04779 (72) 発明者; および
- (22) 国際出願日: 2003 年 4 月 15 日 (15.04.2003) (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 中野 正嗣 (NAKANO, Masatsugu) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 西村 慎二 (NISHIMURA, Shinji) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ: 特願2002-111800 2002 年 4 月 15 日 (15.04.2002) JP (74) 代理人: 曾我 道照, 外 (SOGA, Michiteru et al.); 〒100-0005 東京都千代田区丸の内三丁目1番1号 国際ビルディング 8 階 曾我特許事務所 Tokyo (JP).
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI (81) 指定国 (国内): CN, US.

[続葉有]

(54) Title: ROTATIONAL ANGLE SENSOR AND ROTARY ELECTRIC MACHINE COMPRISING IT

(54) 発明の名称: 回転角度検出装置およびそれを用いた回転電機



(57) Abstract: A rotational angle sensor constituted of a stator provided with a single-phase excitation winding and two-phase output windings and a rotor having a salient pole and a rotary electric machine comprising this sensor. The two-phase output windings are wound around teeth of the stator. Since the number of turns of each two-phase output winding is the number of turns determined by virtually defining m-phase windings (m is an integer of three or more) and converting the number of turns of the m-phase windings into the number of turns of two-phase windings is smaller than that of the m-phase windings. Therefore, the structure is simple, and the manufacturing process is easy.

(57) 要約: この発明は、1相の励磁巻線と2相の出力巻線とを設けた固定子と、突極を有する回転子とから構成された回転角度検出装置およびそれを用いた回転電機であって、上記2相の出力巻線は上記固定子の複数のティースに巻き回されており、上記2相の出力巻線の各々の巻数は、

[続葉有]

WO 03/087728 A1



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

## 明 細 書

### 回転角度検出装置およびそれを用いた回転電機

#### 技術分野

この発明は回転角度検出装置およびそれを用いた回転電機に関する。

#### 背景技術

使用温度環境が制限され、かつ、構造が複雑で高価な光学式のエンコーダに対して、構造が簡単で安価であり、かつ、高温環境にも耐え得るものとして、従来から回転子と固定子間のギャップのパーミアンスの変化を利用した回転角度検出装置が考案されている。例えば、特公昭62-58445号公報には2相の励磁巻線と1相の出力巻線を有する回転角度検出装置の例が記載されている。また、特開昭49-124508号公報には1相の励磁巻線と2相の出力巻線を有する例が記載されている。いずれの例も、回転子の形状は突極を有するものになっているため、回転子の角度によって、出力巻線に現れる電圧の位相あるいは振幅が変化し、その変化を読み取ることによって回転子の位置を知ることができるというものである。また、特許第2624747号公報には励磁巻線が3相の回転角度検出装置が開示されている。さらに、特許第3103487号公報、特許第3182493号公報には固定子のティースに集中的に巻線を巻き、正弦波状に巻数を変化させた例が開示されている。

図73及び図74に、従来の回転角度検出装置の構成の一例を示す。図73は、従来例として、特開昭49-124508号公報に開示されているものと同様の軸倍角1で固定子のティースの数が4の例を示している。一方、図74は、軸倍角4で固定子のティースの数が16の例を示している。これらの図において、100は固定子、101は回転子、102は固定子100に設けられた4本のティース、103はティース102に巻き回された巻線である。図73の方式では、軸倍角が増えるに従い、ティースの数も比例して増える。例えば、軸倍角が4になった場合には、図74のような構成となり、ティースの数は16にも達し、巻

線作業性が低下するため量産には向かない構成であるといえる。

上記の従来例には以下のような問題点がある。特公昭62-58445号公報および特開昭49-124508号公報のような巻線構造をしていると、上述したように、軸倍角が大きくなった場合に固定子のティースの数も比例して大きくなり、巻線性、工作性が低下するという問題点がある。

これらの特公昭62-58445号公報および特開昭49-124508号公報では、いずれも、軸倍角が1の場合であり、固定子のティースの数は4である。例えば軸倍角を2にした場合にはティースの数は8となり、軸倍角が4の場合はティースの数は16、軸倍角8の場合はティースの数は32にも達する。多極のモータなどでは軸倍角の大きな回転角度検出装置が必要となる場合があるが、このような従来例においては軸倍角の大きなものになると量産性の面で非現実的な構造となる。

特許第2624747号公報のような構造では、巻線は出力が1相、励磁が3相と相数が多く、巻線に時間がかかるという生産性の問題や励磁巻線の電源が高価になるという問題点がある。

特許第3103487号公報および特許第3182493号公報の例では、固定子のティースに集中的に巻線を巻いているため、機械による自動巻きが可能な構成である。しかしながら、巻数を正弦波状に変化させるために僅かしか巻数を施さないティースが存在する。ほんの僅かしか巻線をほどこさないティースに自動巻きの巻線機のノズルが移動しなければならず、ノズルの位置決めに時間を要するため巻線作業の効率がよくないという問題点がある。

本発明はかかる問題点を解決するためになされたものであり、製造工程の容易な回転角度検出装置およびそれを用いた回転電機を得ることを目的とする。

### 発明の開示

この発明は、1相の励磁巻線と2相の出力巻線とを設けた固定子と、突極を有する回転子とから構成された回転角度検出装置であって、上記2相の出力巻線は上記固定子の複数のティースに巻き回されており、上記2相の出力巻線の各々の巻数は、予め定義された $m$ 相の巻線（ $m$ は3以上の整数）を用いて、その $m$ 相の

巻線の巻数を 2 相に変換することによって得られるものである。

このように、この発明によれば、2 相の出力巻線の各々の巻数は、予め定義された  $m$  相の巻線 ( $m$  は 3 以上の整数) を用いて、その  $m$  相の巻線の巻数を 2 相に変換することによって得られるものであるため、 $m$  相から 2 相に相数が減るので、構造が簡単で、製造工程が容易になる。

### 図面の簡単な説明

図 1 は、この発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置の構成を示した構成図である。

図 2 は、この発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置における空間 1 次の磁束に対するベクトル図である。

図 3 は、この発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置における空間 9 次の磁束に対するベクトル図である。

図 4 は、この発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置における空間 5 次の磁束に対するベクトル図である。

図 5 は、この発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置における 5 相巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 6 は、この発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置における 5 相 2 相変換後の巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 7 は、この発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置における具体的な巻線の一例 (巻数に小数も許す場合) を表形式で示した説明図である。

図 8 は、この発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置における具体的な巻線の一例 (巻数を整数とした場合) を表形式で示した説明図である。

図 9 は、この発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置における 2 相の出力電圧波形 (図 7 の巻線仕様のとき) をグラフ形式で示した説明図である。

図 10 は、この発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置における 2 相の出力電圧波形 (図 8 の巻線仕様のとき) をグラフ形式で示した説明図である。

図 11 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置の構成を示した構

成図である。

図 1 2 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置における空間 1 次の磁束に対するベクトル図である。

図 1 3 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置における空間 7 次の磁束に対するベクトル図である。

図 1 4 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置における空間 3 次の磁束に対するベクトル図である。

図 1 5 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置における 3 相巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 1 6 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置における 3 相 2 相変換後の巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 1 7 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置における具体的な巻線の一例（巻数に小数も許す場合）を表形式で示した説明図である。

図 1 8 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置における具体的な巻線の一例（巻数を整数とした場合）を表形式で示した説明図である。

図 1 9 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置における 2 相の出力電圧波形（図 1 7 の巻線仕様のとき）をグラフ形式で示した説明図である。

図 2 0 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置における 2 相の出力電圧波形（図 1 8 の巻線仕様のとき）をグラフ形式で示した説明図である。

図 2 1 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置の構成の変形例を示した構成図である。

図 2 2 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置（図 2 1）における軸倍角 2、スロット数 9 の一例を表形式で示した説明図である。

図 2 3 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置（図 2 1）における 3 相 2 相変換後の巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 2 4 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置（図 2 1）における具体的な巻線の一例（巻数に小数も許す場合）を表形式で示した説明図である。

図 2 5 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置（図 2 1）における具体的な巻線の一例（巻数を整数とした場合）を表形式で示した説明図である。

図 2 6 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置における 2 相の出力電圧波形（図 2 4 の巻線仕様のとき）をグラフ形式で示した説明図である。

図 2 7 は、この発明の実施の形態 2 に係る回転角度検出装置における 2 相の出力電圧波形（図 2 5 の巻線仕様のとき）をグラフ形式で示した説明図である。

図 2 8 は、この発明の実施の形態 3 に係る回転角度検出装置の構成を示した構成図である。

図 2 9 は、この発明の実施の形態 3 に係る回転角度検出装置における 3 相巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 3 0 は、この発明の実施の形態 3 に係る回転角度検出装置における 3 相 2 相変換後の巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 3 1 は、この発明の実施の形態 3 に係る回転角度検出装置における具体的な巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 3 2 は、この発明の実施の形態 3 に係る回転角度検出装置における 2 相の出力電圧波形をグラフ形式で示した説明図である。

図 3 3 は、この発明の実施の形態 3 に係る回転角度検出装置の構成の変形例を示した構成図である。

図 3 4 は、この発明の実施の形態 3 に係る回転角度検出装置における 3 相巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 3 5 は、この発明の実施の形態 3 に係る回転角度検出装置における 3 相 2 相変換後の巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 3 6 は、この発明の実施の形態 3 に係る回転角度検出装置における具体的な巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 3 7 は、この発明の実施の形態 3 に係る回転角度検出装置における 2 相の出力電圧波形をグラフ形式で示した説明図である。

図 3 8 は、この発明の実施の形態 4 に係る回転角度検出装置の構成を示した構成図である。

図 3 9 は、この発明の実施の形態 4 に係る回転角度検出装置における 3 相巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 4 0 は、この発明の実施の形態 4 に係る回転角度検出装置における 3 相 2 相

変換後の巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 4 1 は、この発明の実施の形態 4 に係る回転角度検出装置における具体的な巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 4 2 は、この発明の実施の形態 4 に係る回転角度検出装置における 2 相の出力電圧波形をグラフ形式で示した説明図である。

図 4 3 は、この発明の実施の形態 5 に係る回転角度検出装置の構成を示した構成図である。

図 4 4 は、この発明の実施の形態 5 に係る回転角度検出装置における 3 相巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 4 5 は、この発明の実施の形態 5 に係る回転角度検出装置における 3 相 2 相変換後の巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 4 6 は、この発明の実施の形態 5 に係る回転角度検出装置における具体的な巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 4 7 は、この発明の実施の形態 5 に係る回転角度検出装置における 2 相の出力電圧波形をグラフ形式で示した説明図である。

図 4 8 は、この発明の実施の形態 5 に係る回転角度検出装置の構成の変形例を示した構成図である。

図 4 9 は、この発明の実施の形態 5 に係る回転角度検出装置（図 4 8）における 3 相巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 5 0 は、この発明の実施の形態 5 に係る回転角度検出装置（図 4 8）における 3 相 2 相変換後の巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 5 1 は、この発明の実施の形態 5 に係る回転角度検出装置（図 4 8）における具体的な巻線の一例を表形式で示した説明図である。

図 5 2 は、この発明の実施の形態 5 に係る回転角度検出装置（図 4 8）における 2 相の出力電圧波形をグラフ形式で示した説明図である。

図 5 3 は、この発明の実施の形態 6 に係る回転角度検出装置における軸倍角と同じ次数の磁束が発生する例を示した説明図である。

図 5 4 は、この発明の実施の形態 6 に係る回転角度検出装置における空間 4 次の磁束に対するベクトル図である。

図 5 5 は、この発明の実施の形態 6 に係る回転角度検出装置における 3 相巻線  
の一例（軸倍角と同じ次数の磁束を拾わない巻線の一例）を表形式で示した説明  
図である。

図 5 6 は、この発明の実施の形態 6 に係る回転角度検出装置における 3 相 2 相  
変換後の巻線の一例（軸倍角と同じ次数の磁束を拾わない巻線の一例）を表形式  
で示した説明図である。

図 5 7 は、この発明の実施の形態 6 に係る回転角度検出装置における具体的な  
巻線の一例（軸倍角と同じ次数の磁束を拾わない巻線の一例）を表形式で示した  
説明図である。

図 5 8 は、この発明の実施の形態 6 に係る回転角度検出装置における 2 相の出  
力電圧波形をグラフ形式で示した説明図である。

図 5 9 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置の構成を示した構  
成図である。

図 6 0 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置における空間 2 次  
の磁束に対するベクトル図である。

図 6 1 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置における空間 4 次  
の磁束に対するベクトル図である。

図 6 2 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置における 3 相巻線  
（その 1）を表形式で示した説明図である。

図 6 3 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置における 3 相巻線  
（その 2）を表形式で示した説明図である。

図 6 4 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置における 3 相巻線  
（その 3）を表形式で示した説明図である。

図 6 5 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置における 3 相 2 相  
変換後の巻線の一例（その 1）を表形式で示した説明図である。

図 6 6 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置における 3 相 2 相  
変換後の巻線の一例（その 2）を表形式で示した説明図である。

図 6 7 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置における 3 相 2 相  
変換後の巻線の一例（その 3）を表形式で示した説明図である。

図 6 8 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置における具体的な巻線の一例（その 1）を表形式で示した説明図である。

図 6 9 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置における具体的な巻線の一例（その 2）を表形式で示した説明図である。

図 7 0 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置における具体的な巻線の一例（その 3）を表形式で示した説明図である。

図 7 1 は、この発明の実施の形態 8 に係る回転角度検出装置における偏心の有無による検出位置誤差の変化をグラフ形式で示した説明図である。

図 7 2 は、この発明の実施の形態 1 ～ 8 に係る回転角度検出装置を爪形の界磁鉄心を持つ発電機に適用した実施の形態 9 の構成を示した構成図である。

図 7 3 は、従来の回転角度検出装置の構成の一例について示した構成図である。

図 7 4 は、従来の回転角度検出装置の構成の他の例について示した構成図である。

### 発明を実施するための最良の形態

#### 実施の形態 1.

ここでは、実施の形態として軸倍角 4（ティースの数 10、5 相 2 相変換）の回転角度検出装置の例を示す。図 7 3 及び図 7 4 に示した従来例においては、上述したように、軸倍角が増えるに従いティースの数も比例して増え、例えば、図 7 4 の例のように、軸倍角が 4 になった場合、ティースの数は 16 にも達し、巻線作業性が低下するため量産には向かない構成である。

しかしながら、本発明によれば、軸倍角が大きくなっても、上述の従来例と比べて、ティースの数を小さくして、回転角度検出装置を構成することができる。以下に、その構成について説明する。

図 1 に、軸倍角 4、固定子のティースの数が 10 本の本発明の実施の形態 1 に係る回転角度検出装置を示す。図 1 において、1 は固定子、2 は回転子、3 は固定子 1 に設けられた 10 本のティース、4 は固定子 1 の鉄心、5 はティース 3 に巻き回された巻線、6 は回転子 2 の鉄心、7 は鉄心 6 に設けられた 4 つの突極、10 は回転角度検出装置である。図 1 に示すように、固定子 1 は 10 本のティース

ス 3 を有する鉄心 4 と 1 相励磁巻線 5 と 2 相の出力巻線（図示省略）から構成される。また、回転子 2 は軸倍角 4 の回転角度検出装置 10 として機能するように 4 つの突極 7 を有する鉄心 6 で構成され、固定子 1 に対して回転自在となっている。

次に、1 相の励磁巻線 5 と 2 相の出力巻線をどのように構成するかについて述べる。励磁巻線 5 はティース番号 1 ～ 10 のティース 3 のそれぞれに集中的に巻き回されている。また、その極性は隣り合うティース 3 で逆になるように巻き回されている。すなわち、10 極の磁極が構成できるような巻線が施されている。このときに、出力巻線をどのように巻けばよいかについて考察する。回転角度検出装置として機能するためには、空隙に出来る磁束のうち

$$(\text{励磁の極対数}) \pm (\text{軸倍角})$$

に等しい空間次数の磁束を拾う必要がある。ここでは励磁の極対数が 5、軸倍角が 4 であるから

$$5 \pm 4 = 1, 9$$

となり、空間 1 次か 9 次の磁束を拾う必要がある（ただし、空間 1 次とは機械角 360 度を 1 周期とする次数）。また、励磁の極対数とあるいはその整数倍の空間次数の磁束を拾ってはいけなから、回転角度検出装置として機能するための 2 相の出力巻線に必要な条件を整理すれば

(1) 空間 1 次か空間 9 次の磁束を拾う。

(2) 空間 5 次あるいはその整数倍の磁束を拾わない。

となる。この条件を満足するために、まず、5 相の出力巻線を仮想的に考え、その 5 相巻線を 2 相に変換することによって  $\sin$  出力、 $\cos$  出力の 2 相巻線（以下では  $\alpha$  相、 $\beta$  相巻線）とする。

まず、(1) の条件をみたす 5 相巻線を考える。そこで、ベクトル図を用いて考えることにする。空間 1 次、9 次の磁束が各ティースに巻き回された巻線がどのような位相で鎖交するかを図 2, 3 に示す。各ベクトルの番号はティース番号を表し、それぞれのティース番号に巻き回された巻線が鎖交する磁束の位相を示している。位相は左まわりが進む向きであるとする。このベクトル図からティース番号 1, 5, 7 に巻線を施し、かつ、ティース番号 5, 7 の極性をティース 1

のそれと逆にすれば、空間 1 次と 9 次の両方の磁束を拾うことができる。この巻線と電気角 72 度ずつずれた巻線を残し 4 相分構成すれば、回転角度検出装置として成立するための空間 1 次と 9 次の磁束を拾い、かつ、電気角 72 度ずつずれた 5 相の巻線を構成できる（ただし、電気角は機械角に軸倍角を乗じた角度であるとする。）。すなわち、図 5 の表のような巻線仕様となる。ここで、巻数は規格化するために  $\pm 1.0$  で表し、符号の違いは極性の違いを表すものとする。また、0.0 のところには巻線を施さないことを示す。

これが条件（1）をみたす 5 相の出力巻線である。5 相のままでは条件（2）も満たしていない上、仮に回転角度検出装置として機能しても処理回路が複雑かつ高価になる。そこで、5 相巻線を 2 相巻線（ $\alpha$  相、 $\beta$  相）に変換するため次式（1）のような 5 相 2 相変換を定義する。

$$\begin{pmatrix} N_{\alpha} \\ N_{\beta} \end{pmatrix} = k \begin{pmatrix} \cos \gamma & \cos(\gamma + \frac{2\pi}{5}) & \cos(\gamma + \frac{4\pi}{5}) & \cos(\gamma + \frac{6\pi}{5}) & \cos(\gamma + \frac{8\pi}{5}) \\ \sin \gamma & \sin(\gamma + \frac{2\pi}{5}) & \sin(\gamma + \frac{4\pi}{5}) & \sin(\gamma + \frac{6\pi}{5}) & \sin(\gamma + \frac{8\pi}{5}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ N_4 \\ N_5 \end{pmatrix} \dots\dots(1)$$

ここで、 $k$  は定数であり、 $N_{\alpha}$ 、 $N_{\beta}$  は出力巻線  $\alpha$  相、 $\beta$  相の巻数、 $N_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) は 5 相の出力巻線第  $i$  相の巻数を表す。また、 $\gamma$  は任意の角度である。

式（1）で表される 5 相 2 相変換によって、各ティースの巻数を決定すれば、巻線に鎖交する磁束も 5 相 2 相変換される。また、この 5 相 2 相変換によって条件（2）がみたされる。なぜなら、空間 5 次の磁束に対するベクトル図（図 4）によれば、5 相の巻線において同じ位相となり、この場合、式（1）によってキャンセルされることは明らかである。よって 5 相 2 相変換で条件（2）がみたされることになり、2 相の出力巻線は回転角度検出装置として機能する巻線仕様となっていることがわかる。そこで、具体的に式（1）において  $\gamma = 0$ 、 $k = 1$  とし、図 5 を 5 相 2 相変換したときの例を図 6 に示す。ただし、小数点 5 桁以下は

四捨五入している。図6を基に具体的に現実的な巻数を決定したものを図7、図8に示す。図6における巻数に励磁巻線は50、出力巻線は100を乗じた値を示している。また、図7は巻数に小数を許す場合（理想的な場合）。図8は小数点以下四捨五入したものである。

巻線仕様を図7、図8のようにして、励磁巻線を交流電流で励磁したときに2相の出力巻線に現れる電圧を回転子位置によってどのように変化するかを図9、図10のグラフに示す。これらの図において、20は $\alpha$ 相巻線、21は $\beta$ 相巻線である。また、横軸は回転子の位置を機械角で示し、縦軸は出力巻線に発生する電圧を示す。ただし、電圧の符号が負であるのは励磁巻線の電流に対し位相が反転していることを示している。いずれの場合も、電圧は正弦波状の波形で互いに電気角90度ずれているため、回転角度検出装置として動作することが確認できた。

以上により、出力巻線を仮想的に5相の巻線を定義してその後5相2相変換することにより2相の出力巻線を得た。これにより、回転角度検出装置として動作することを確認できた。このような構成にすることにより励磁が3相で構成される回転角度検出装置に比べて相数が減るため、構造が簡単になり、製造工程が容易になるという効果がある。さらに、従来例であれば軸倍角が4の場合、固定子のティースの数が16であったが、本発明によれば、ティースの数が10でよい。すなわち、軸倍角が大きくなっても従来例より固定子のティースの数を少なくして回転角度検出装置を構成できるため巻線性、工作性がよく量産性に優れているという効果もある。さらに、従来例で正弦波状に巻数を変化させた場合があったが、この場合、ほんの僅かの巻数を施すティースがあり、そのティースのために時間の要する自動巻きの巻線機のノズルの位置決めをする必要があったので巻線作業効率が低下するという課題があったが、本発明では図6、7、8からも明らかのように、出力巻線を施さなくともよいティースが複数存在するため、巻線作業効率を向上することができるという効果もある。

ここでは、5相2相について述べたが一般に $m$ 相（ $m$ は3以上の整数）を2相に変換することによっても回転角度検出装置として動作する出力巻線を得ることができる。その場合、 $m$ 相2相変換を以下のように定義してやればよい。

$$N_{\alpha i} = k \sum_{n=1}^m N_{ni} \cos\left(\gamma + \frac{2(n-1)}{m} \pi\right) \dots\dots (2)$$

$$N_{\beta i} = k \sum_{n=1}^m N_{ni} \sin\left(\gamma + \frac{2(n-1)}{m} \pi\right) \dots\dots (3)$$

ただし、式（２）、（３）において $\gamma$ は任意の定数、 $k$ は零でない任意の定数であり、添字の $i$ はティースの番号を示し、 $\alpha$ 、 $\beta$ は変換後の２相巻線、 $n$ は変換前の第 $n$ 相を示す。すなわち、 $N_{\alpha i}$ 、 $N_{\beta i}$ はそれぞれ $i$ 番目のティースにおける $\alpha$ 相、 $\beta$ 相巻線の巻数、 $N_{ni}$ は $i$ 番目のティースの第 $n$ 相巻線の巻数を表す。このように $m$ 相の巻線を２相に変換して構成した巻線も同様の効果が得られることはいうまでもない。また、本発明における回転角度検出装置の各ティースの巻数は $m$ 相２相変換によって決定される巻数と厳密に一致している必要はない。例えば、図９および図１０のように、小数点以下四捨五入しても、しなくても回転角度検出装置として問題なく動作することは既に述べたとおりである。さらに、例えば $m$ 相２相変換によって決定される巻数から１０％程度巻数がずれたとしても、図１０の正弦波が１０％程度ずれるだけで、上記効果が損なわれることはない上、回転角度検出装置として動作することはいうまでもない。

#### 実施の形態２．

上述の実施の形態１では５相２相変換についての具体例と一般の $m$ 相の巻線を２相に変換する手法について述べたが、本実施の形態においては、３相２相変換を用いて巻線を構成する例を挙げる。

図１１に軸倍角４、ティースの数９の回転角度検出装置を示す。本実施の形態においては、ティースの個数が $3n$ （ $n$ は自然数、ここでは $n=3$ ）となっている。図１１において、１は固定子、２は回転子、３は固定子１に設けられた９本のティース、４は固定子１の鉄心、５はティース３に巻き回された巻線、６は回転子２の鉄心、７は鉄心６に設けられた４つの突極、１０は回転角度検出装置である。固定子１は９本のティース３を有する鉄心４と１相の励磁巻線５と２相の

出力巻線（図示省略）から構成される。また、回転子 2 は軸倍角 4 の回転角度検出装置 10 として動作するように 4 つの突極 7 を有する鉄心 6 で構成され、固定子 1 に対して回転自在となっている。

次に、1 相の励磁巻線 5 と 2 相の出力巻線がどのように構成されているかについて説明する。励磁巻線 5 はティース番号 1 ～ 9 のティース 3 のそれぞれに集中的に巻き回されており、その極性は 6 極の磁極が構成できるような巻線がされている。このときに、出力巻線をどのように巻けばよいかについて考察する。回転角度検出装置として機能するためには、空隙に出来る磁束のうち

$$(\text{励磁の極対数}) \pm (\text{軸倍角})$$

に等しい空間次数の磁束を拾う必要がある。ここでは励磁の極対数が 3、軸倍角が 4 であるから

$$4 \pm 3 = 1, 7$$

となり、空間 1 次か 7 次の磁束を拾う必要がある（ただし、空間 1 次とは機械角 360 度を 1 周期とする次数）。また、励磁の極対数とあるいはその整数倍の空間次数の磁束を拾ってはいけないから、回転角度検出装置として機能するための 2 相の出力巻線に必要な条件を整理すれば

- (1) 空間 1 次か空間 7 次の磁束を拾う。
- (2) 空間 3 次あるいはその整数倍の磁束を拾わない。

となる。この条件を満足するために、まず、3 相の出力巻線（U 相、V 相、W 相）を仮想的に考え、その 3 相巻線を 2 相に変換することによって  $\sin$  出力、 $\cos$  出力の 2 相巻線（以下では  $\alpha$  相、 $\beta$  相巻線）とする。

まず、(1) の条件をみたす 3 相巻線を考える。そこで、ベクトル図を用いて考えることにする。空間 1 次、7 次の磁束が各ティースに巻き回された巻線がどのような位相で鎖交するかを図 12, 13 に示す。各ベクトルの番号はティース番号を表し、それぞれのティース番号に巻き回された巻線が鎖交する磁束の位相を示している。位相は左まわりが進む向きであるとする。このベクトル図からティース番号 1, 5, 6 に巻線を施し、かつティース番号 5, 6 の極性をティース 1 のそれと逆にすれば、空間 1 次の磁束を拾うことができる。この巻線と電気角 120 度ずつずれた巻線を残り 3 相分構成すれば、回転角度検出装置として成立

するための空間 1 次か 7 次の磁束を拾い、かつ電気角 120 度ずつずれた 3 相の巻線を構成できる（ただし、電気角は機械角に軸倍角を乗じた角度であるとする。）。すなわち、図 15 に示す表のような巻線仕様となる。ここで、巻数は規格化するために  $\pm 1.0$  で表し、符号の違いは極性の違いを表すものとする。また、0.0 のところには巻線を施さないことを示す。

これが条件（1）をみたす 3 相の出力巻線である。3 相のままでは条件（2）もみたしていない上、仮に回転角度検出装置として機能しても処理回路が複雑かつ高価になる。そこで、3 相巻線を 2 相巻線（ $\alpha$  相、 $\beta$  相）に変換するため次式（4）のような 3 相 2 相変換を定義する。

$$\begin{pmatrix} N_{\alpha} \\ N_{\beta} \end{pmatrix} = k \begin{pmatrix} \cos \gamma & \cos(\gamma + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\gamma - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin \gamma & \sin(\gamma + \frac{2\pi}{3}) & \sin(\gamma - \frac{2\pi}{3}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_u \\ N_v \\ N_w \end{pmatrix} \dots\dots(4)$$

式（4）で示される 3 相 2 相変換によって各ティースの巻数を決定すれば、巻線に鎖交する磁束も 3 相 2 相変換される。また、この 3 相 2 相変換によって条件（2）がみたされる。なぜなら、空間 3 次の磁束に対するベクトル図（図 14）によれば、3 相の巻線において同じ位相になり、この場合、式（4）によってキャンセルされることは明らかである。よって、3 相 2 相変換により条件（4）がみたされることとなり、2 相の出力巻線は回転角度検出装置として機能する巻線仕様となっていることがわかる。そこで、具体的に式（4）において  $\gamma = 0$ 、 $k = (2/3)^{1/2}$  とし、3 相巻線図 15 を 3 相 2 相変換したときの例を図 16 に示す。ただし、小数点 5 桁以下は四捨五入している。図 16 を基に具体的に現実的な巻数を決定したものを図 17、図 18 に示す。図 16 における巻数に励磁巻線は 50、出力巻線は 150 を乗じた値を示している。また、図 17 は巻数に小数を許す場合（理想的な場合）。図 18 は小数点以下四捨五入したものである。

巻線仕様を図 17、図 18 のようにして、励磁巻線を交流電流で励磁したときに 2 相の出力巻線に現れる電圧を回転子位置によってどのように変化するかを図

19, 図20のグラフに示す。これらの図において、20は $\alpha$ 相巻線、21は $\beta$ 相巻線である。また、横軸は回転子の位置を機械角で示し、縦軸は出力巻線に発生する電圧を示す。ただし、電圧の符号が負であるのは励磁巻線の電流に対し位相が反転していることを示している。いずれの場合も、電圧は正弦波状の波形で互いに電気角90度（機械角22.5度）ずれているため、軸倍角4の回転角度検出装置として動作することが確認できた。

以上により、出力巻線を仮想的に3相の巻線を定義してその後3相2相変換することにより2相の出力巻線を得た。これにより、回転角度検出装置として動作することを確認できた。このような構成にすることにより励磁が3相で構成される回転角度検出装置に比べて相数が減るため、構造が簡単になるという効果がある。さらに、従来例であれば軸倍角が4の場合、固定子のティースの数が16であったが、本発明によれば、ティースの数が9でよい。すなわち、軸倍角が大きくなっても従来例より固定子のティースの数を少なくして回転角度検出装置を構成できるため巻線性、工作性がよく量産性に優れているという効果もある。さらに、従来例で正弦波状に巻数を変化させた場合があったが、この場合、ほんの僅かの巻数を施すティースがあり、そのティースのために時間の要する自動巻きの巻線機のノズルの位置決めをする必要があったので巻線作業効率が低下するという課題があったが、本発明では図17, 18からも明らかなように、出力巻線を施さなくともよいティースが複数存在するため、巻線作業効率を向上することができるという効果もある。また、2相の出力巻線を構成する際に仮想的に構成する多相巻線を3相で構成できるので出力巻線の仕様を容易に決定できるという効果がある。

ここでは軸倍角4についてのみ述べたが、他の軸倍角も同じような手順で構成できる。図21に軸倍角2、ティースの数9の例を示す。図21において、1は固定子、2は回転子、3は固定子1に設けられた9本のティース、4は固定子1の鉄心、5はティース3に巻き回された巻線、6は回転子2の鉄心、7は鉄心6に設けられた2つの突極、10は回転角度検出装置である。励磁巻線の極数を6極とすれば、同様に回転角度検出装置として動作するための条件を求めると、軸倍角が2であることに注意して

- (1) 空間 1 次か空間 5 次の磁束を拾う。
- (2) 空間 3 次あるいはその整数倍の磁束を拾わない。

となる。条件 (1) をみたす 3 相巻線の一例を図 2 2 に示す。これを式 (4) に従い 3 相 2 相変換を施し条件 (2) をみたすようにしたものを図 2 3 に示す。ただし、 $\gamma = 0$ 、 $k = (2/3)^{1/2}$  とした。ただし、小数点 5 桁以下は四捨五入している。図 2 3 を基に具体的に現実的な巻数を決定したものを図 2 4、図 2 5 に示す。図 2 3 における巻数に励磁巻線は 50、出力巻線は 150 を乗じた値を示している。また、図 2 4 は巻数に小数を許す場合（理想的な場合）であり、図 2 5 は小数点以下四捨五入したものである。巻線仕様を図 2 4、図 2 5 のようにして、励磁巻線を交流電流で励磁したときに 2 相の出力巻線に現れる電圧を回転子位置によってどのように変化するかを図 2 6、図 2 7 のグラフに示す。これらの図において、20 は  $\alpha$  相巻線、21 は  $\beta$  相巻線である。また、横軸は回転子の位置を機械角で示し、縦軸は出力巻線に発生する電圧を示す。ただし、電圧の符号が負であるのは励磁巻線の電流に対し位相が反転していることを示している。いずれの場合も、電圧は正弦波状の波形で互いに電気角 90 度（機械角 45 度）ずれているため、軸倍角 2 の回転角度検出装置として動作することが確認できた。

以上により、出力巻線を仮想的に 3 相の巻線を定義してその後 3 相 2 相変換することにより 2 相の出力巻線を得た。これにより、回転角度検出装置として動作することを確認できた。このような構成にすることにより励磁が 3 相で構成される回転角度検出装置に比べて相数が減るため、構造が簡単になり、製造工程が容易になるという効果がある。さらに、従来例で正弦波状に巻数を変化させた場合があったが、この場合、ほんの僅かの巻数を施すティースがあり、そのティースのために時間の要する自動巻きの巻線機のノズルの位置決めをする必要があったので巻線作業効率が低下するという課題があったが、本発明では図 2 3、2 4、2 5 から明らかなように、出力巻線を施さなくともよいティースが複数存在するため、巻線作業効率を向上することができるという効果もある。また、2 相の出力巻線を構成する際に仮想的に構成する多相巻線を 3 相で構成できるので出力巻線の仕様を容易に決定できるという効果がある。

また、本実施の形態において固定子ティースの数は奇数である。従来例はティ

ースの数が偶数であり、かつ励磁巻線は隣り合うティースで極性が逆になるように巻き回されていた。すなわち固定子ティースの数と励磁巻線の数が一致していた。ところが従来の励磁巻線の巻き方では、ティースの数が奇数の場合このような巻線のパターンでは隣り合う巻線の極性が一致するところが1ヶ所できるため、バランスのいい励磁巻線ではなく、検出位置誤差の増大につながるという課題があった。しかしながら、本実施の形態の励磁巻線の構成は従来例とは異なり、3本のティースで1パターンを形成するように巻き回されている。すなわち図41のように、ティース番号1では50ターン、ティース番号2、3では-25ターン（極性がティース番号1と逆）となっている。このパターンを3回、すなわち、ティースの個数9の値の約数の値と同じ回数だけ繰り返している（なお、9の約数は1と3であるが、ここでは1以外の約数の値を約数と呼ぶこととする。）。このような構成にすることで、同じパターンの巻線を繰り返すのでバランスよく励磁巻線を巻き回すことが可能となる。一般的には、ティースの数が奇数のときでも、ティースの数の約数回だけ同じパターンの巻線を繰り返すことで、バランスのよい励磁巻線を構成することができる。これにより、励磁巻線の起磁力がバランスよく発生するため検出位置誤差が増大することがないという効果がある。

さらに、図41ではティース番号1では50ターン、ティース番号2、3では-25ターンとパターンの中で巻数の合計（極性も考えて合計）すると $50 - 25 - 25 = 0$ となる。このように合計を0になるような巻数としていれば、励磁巻線に電流が流れたときに空間0次の起磁力が発生しない。このため空隙に必要なない次数の磁束が発生せず検出位置誤差の増大を防ぐことができるという効果がある。

### 実施の形態3.

図28に軸倍角4、ティースの数6の例を示す。本実施の形態においては、ティースの個数が $3n$ （ $n$ は自然数、ここでは $n=2$ ）となっている。図28において、1は固定子、2は回転子、3は固定子1に設けられた6本のティース、4は固定子1の鉄心、5はティース3に巻き回された巻線、6は回転子2の鉄心、7は鉄心6に設けられた4つの突極、10は回転角度検出装置である。

励磁巻線 5 の極数を 6 極とすれば、同様に回転角度検出装置として動作するための条件を求めると、軸倍角が 4 であることに注意して

- (1) 空間 1 次か空間 7 次の磁束を拾う。
- (2) 空間 3 次あるいはその整数倍の磁束を拾わない。

となる。条件 (1) をみたす 3 相巻線の一例を図 29 に示す。これを式 (4) に従い 3 相 2 相変換を施し条件 (2) をみたすようにしたものを図 30 に示す。ただし、 $\gamma = 0$ 、 $k = (2/3)^{1/2}$  とした。ただし、小数点 5 桁以下は四捨五入している。図 30 を基に具体的に現実的な巻数を決定したものを図 31 に示す。図 30 における巻数に励磁巻線は 50、出力巻線は 150 を乗じた値を示している。なお、図 31 は小数点以下四捨五入したものである。巻線仕様を図 31 のようにして、励磁巻線を交流電流で励磁したときに 2 相の出力巻線に現れる電圧を回転子位置によってどのように変化するかを図 32 のグラフに示す。この図において、20 は  $\alpha$  相巻線、21 は  $\beta$  相巻線である。また、横軸は回転子の位置を機械角で示し、縦軸は出力巻線に発生する電圧を示す。ただし、電圧の符号が負であるのは励磁巻線の電流に対し位相が反転していることを示している。いずれの場合も、電圧は正弦波状の波形で互いに電気角 90 度（機械角 22.5 度）ずれているため、軸倍角 4 の回転角度検出装置として動作することが確認できた。

また、図 33 に軸倍角 8、ティースの数 6 の例を示す。図 33 において、1 は固定子、2 は回転子、3 は固定子 1 に設けられた 6 本のティース、4 は固定子 1 の鉄心、5 はティース 3 に巻き回された巻線、6 は回転子 2 の鉄心、7 は鉄心 6 に設けられた 8 つの突極、10 は回転角度検出装置である。

励磁巻線の極数を 6 極とすれば、同様に回転角度検出装置として動作するための条件を求めると、軸倍角が 8 であることに注意して

- (1) 空間 5 次か空間 11 次の磁束を拾う。
- (2) 空間 3 次あるいはその整数倍の磁束を拾わない。

となる。条件 (1) をみたす 3 相巻線の一例を図 34 に示す。これを式 (4) に従い 3 相 2 相変換を施し条件 (2) をみたすようにしたものを図 35 に示す。ただし、 $\gamma = 0$ 、 $k = (2/3)^{1/2}$  とした。ただし、小数点 5 桁以下は四捨五入している。図 35 を基に具体的に現実的な巻数を決定したものを図 36 に示す。

図 3 5 における巻数に励磁巻線は 5 0、出力巻線は 1 5 0 を乗じた値を示している。なお、図 3 6 は小数点以下四捨五入したものである。巻線仕様を図 3 8 のようにして、励磁巻線を交流電流で励磁したときに 2 相の出力巻線に現れる電圧を回転子位置によってどのように変化するかを図 3 7 のグラフに示す。この図において、2 0 は  $\alpha$  相巻線、2 1 は  $\beta$  相巻線である。また、横軸は回転子の位置を機械角で示し、縦軸は出力巻線に発生する電圧を示す。ただし、電圧の符号が負であるのは励磁巻線の電流に対し位相が反転していることを示している。いずれの場合も、電圧は正弦波状の波形で互いに電気角 9 0 度（機械角 1 1. 2 5 度）ずれているため、軸倍角 8 の回転角度検出装置として動作することが確認できた。なお、ここに挙げた巻線は一例にすぎない。条件（1）をみたす巻線は他にもある上、 $\gamma$ 、 $k$ によっても巻数を変化させることができるからである。

以上により、出力巻線を仮想的に 3 相の巻線を定義してその後 3 相 2 相変換することにより 2 相の出力巻線を得た。これにより、回転角度検出装置として動作することを確認できた。このような構成にすることにより励磁が 3 相で構成される回転角度検出装置に比べて相数が減るため、構造が簡単になり、製造工程が容易になるという効果がある。さらに、従来例であれば軸倍角が 4 の場合、固定子のティースの数が 1 6、軸倍角が 8 の場合、固定子のティースの数が 3 2 であったが、本発明によれば、ティースの数が 6 でよい。すなわち、軸倍角が大きくなっても従来例より固定子のティースの数を少なくして回転角度検出装置を構成できるため巻線性、工作性がよく量産性に優れているという効果もある。さらに、従来例で正弦波状に巻数を変化させた場合があったが、この場合、ほんの僅かの巻数を施すティースがあり、そのティースのために時間の要する自動巻きの巻線機のノズルの位置決めをする必要があったので巻線作業効率が低下するという課題があったが、本発明では図 3 1、3 6 から明らかなように、出力巻線を施さなくともよいティースが複数存在するため、巻線作業効率を向上することができるという効果もある。また、2 相の出力巻線を構成する際に仮想的に構成する多相巻線を 3 相で構成できるので出力巻線の仕様を容易に決定できるという効果がある。

実施の形態 4.

図 38 に軸倍角 8、ティースの数 9 の例を示す。図 38 において、1 は固定子、2 は回転子、3 は固定子 1 に設けられた 9 本のティース、4 は固定子 1 の鉄心、5 はティース 3 に巻き回された巻線、6 は回転子 2 の鉄心、7 は鉄心 6 に設けられた 8 つの突極、10 は回転角度検出装置である。

励磁巻線の極数を 6 極とすれば、同様に回転角度検出装置として動作するための条件を求めると、軸倍角が 8 であることに注意して

- (1) 空間 5 次か空間 11 次の磁束を拾う。
- (2) 空間 3 次あるいはその整数倍の磁束を拾わない。

となる。条件 (1) をみたす 3 相巻線の一例を図 39 に示す。これを式 (4) に従い 3 相 2 相変換を施し条件 (2) をみたすようにしたものを図 40 に示す。ただし、 $\gamma = 0$ 、 $k = (2/3)^{1/2}$  とした。ただし、小数点 5 桁以下は四捨五入している。図 40 を基に具体的に現実的な巻数を決定したものを図 41 に示す。図 40 における巻数に励磁巻線は 50、出力巻線は 150 を乗じた値を示している。なお、図 41 は小数点以下四捨五入したものである。巻線仕様を図 41 のようにして、励磁巻線を交流電流で励磁したときに 2 相の出力巻線に現れる電圧を回転子位置によってどのように変化するかを図 42 のグラフに示す。この図において、20 は  $\alpha$  相巻線、21 は  $\beta$  相巻線である。また、横軸は回転子の位置を機械角で示し、縦軸は出力巻線に発生する電圧を示す。ただし、電圧の符号が負であるのは励磁巻線の電流に対し位相が反転していることを示している。いずれの場合も、電圧は正弦波状の波形で互いに電気角 90 度（機械角 11.25 度）ずれているため、軸倍角 8 の回転角度検出装置として動作することが確認できた。

なお、ここに挙げた巻線は一例にすぎない。条件 (1) をみたす巻線は他にもある上、 $\gamma$ 、 $k$  によっても巻数を変化させることができるからである。

以上により、出力巻線を仮想的に 3 相の巻線を定義してその後 3 相 2 相変換することにより 2 相の出力巻線を得た。これにより、回転角度検出装置として動作することを確認できた。このような構成にすることにより励磁が 3 相で構成される回転角度検出装置に比べて相数が減るため、構造が簡単になり、製造工程が容易になるという効果がある。さらに、従来例であれば軸倍角が 8 の場合、固定子

のティースの数が32であったが、本発明によれば、ティースの数が9でよい。すなわち、軸倍角が大きくなっても従来例より固定子のティースの数を少なくして回転角度検出装置を構成できるため巻線性、工作性がよく量産性に優れているという効果もある。さらに、従来例で正弦波状に巻数を変化させた場合があったが、この場合、ほんの僅かの巻数を施すティースがあり、そのティースのために時間の要する自動巻きの巻線機のノズルの位置決めをする必要があったので巻線作業効率が低下するという課題があったが、本発明では図41からも明らかなように、出力巻線を施さなくともよいティースが複数存在するため、巻線作業効率を向上することができるという効果もある。また、2相の出力巻線を構成する際に仮想的に構成する多相巻線を3相で構成できるので出力巻線の仕様を容易に決定できるという効果がある。

#### 実施の形態5.

図43に軸倍角4、ティースの数12の例を示す。図43において、1は固定子、2は回転子、3は固定子1に設けられた12本のティース、4は固定子1の鉄心、5はティース3に巻き回された巻線、6は回転子2の鉄心、7は鉄心6に設けられた4つの突極、10は回転角度検出装置である。

励磁巻線の極数を6極とすれば、同様に回転角度検出装置として動作するための条件を求めると、軸倍角が4であることに注意して

- (1) 空間1次か空間7次の磁束を拾う。
- (2) 空間3次あるいはその整数倍の磁束を拾わない。

となる。条件(1)をみたす3相巻線の一例を図44に示す。これを式(4)に従い3相2相変換を施し条件(2)をみたすようにしたものを図45に示す。ただし、 $\gamma=0$ 、 $k=(2/3)^{1/2}$ とした。ただし、小数点5桁以下は四捨五入している。図45を基に具体的に現実的な巻数を決定したものを図46に示す。図45における巻数に励磁巻線は50、出力巻線は150を乗じた値を示している。なお、図46は小数点以下四捨五入したものである。巻線仕様を図46のようにして、励磁巻線を交流電流で励磁したときに2相の出力巻線に現れる電圧を回転子位置によってどのように変化するかを図47のグラフに示す。この図にお

いて、20は $\alpha$ 相巻線、21は $\beta$ 相巻線である。また、横軸は回転子の位置を機械角で示し、縦軸は出力巻線に発生する電圧を示す。ただし、電圧の符号が負であるのは励磁巻線の電流に対し位相が反転していることを示している。いずれの場合も、電圧は正弦波状の波形で互いに電気角90度（機械角22.5度）ずれているため、軸倍角4の回転角度検出装置として動作することが確認できた。

また、図48に軸倍角8、ティースの数12の例を示す。図48において、1は固定子、2は回転子、3は固定子1に設けられた12本のティース、4は固定子1の鉄心、5はティース3に巻き回された巻線、6は回転子2の鉄心、7は鉄心6に設けられた8つの突極、10は回転角度検出装置である。

励磁巻線の極数を6極とすれば、同様に回転角度検出装置として動作するための条件を求めると、軸倍角が8であることに注意して

- (1) 空間5次か空間11次の磁束を拾う。
- (2) 空間3次あるいはその整数倍の磁束を拾わない。

となる。条件(1)をみたす3相巻線の一例を図49に示す。これを式(4)に従い3相2相変換を施し条件(2)をみたすようにしたものを図50に示す。ただし、 $\gamma=0$ 、 $k=(2/3)^{1/2}$ とした。ただし、小数点5桁以下は四捨五入している。図50を基に具体的に現実的な巻数を決定したものを図51に示す。図50における巻数に励磁巻線は50、出力巻線は150を乗じた値を示している。なお、図51は小数点以下四捨五入したものである。巻線仕様を図51のようにして、励磁巻線を交流電流で励磁したときに2相の出力巻線に現れる電圧を回転子位置によってどのように変化するかを図52のグラフに示す。この図において、20は $\alpha$ 相巻線、21は $\beta$ 相巻線である。また、横軸は回転子の位置を機械角で示し、縦軸は出力巻線に発生する電圧を示す。ただし、電圧の符号が負であるのは励磁巻線の電流に対し位相が反転していることを示している。電圧は正弦波状の波形で互いに電気角90度（機械角11.25度）ずれているため、軸倍角8の回転角度検出装置として動作することが確認できた。

なお、ここに挙げた巻線は一例にすぎない。条件(1)をみたす巻線は他にもある上、 $\gamma$ 、 $k$ によっても巻数を変化させることができるからである。

以上により、出力巻線を仮想的に3相の巻線を定義してその後3相2相変換す

ることにより 2 相の出力巻線を得た。これにより、回転角度検出装置として動作することを確認できた。このような構成にすることにより励磁が 3 相で構成される回転角度検出装置に比べて相数が減るため、構造が簡単になり、製造工程が容易になるという効果がある。さらに、従来例であれば軸倍角が 4 の場合、固定子のティースの数が 16、軸倍角が 8 の場合、固定子のティースの数が 32 であったが、本発明によれば、ティースの数が 12 でよい。すなわち、軸倍角が大きくなっても従来例より固定子のティースの数を少なくして回転角度検出装置を構成できるため巻線性、工作性がよく量産性に優れているという効果もある。さらに、従来例で正弦波状に巻数を変化させた場合があったが、この場合、ほんの僅かの巻数を施すティースがあり、そのティースのために時間の要する自動巻きの巻線機のノズルの位置決めをする必要があったので巻線作業効率が低下するという課題があったが、本発明では図 46, 51 から明らかなように、出力巻線を施さなくともよいティースが複数存在するため、巻線作業効率を向上することができるという効果もある。また、2 相の出力巻線を構成する際に仮想的に構成する多相巻線を 3 相で構成できるので出力巻線の仕様を容易に決定できるという効果がある。

#### 実施の形態 6.

本発明の回転角度検出装置は巻線が固定子と回転子の空隙に発生する磁束を拾うことによって動作するが、外からのノイズの影響を受けることがある。中でも、空間 0 次の起磁力によって発生する磁束が悪影響を及ぼすことがある。この磁束の空間次数は回転子の軸倍角と一致する。例えば、軸倍角 4 の回転角度検出装置では空間 4 次の磁束が発生する。これについて図 53 を用いて説明する。図 53 において、30 は回転子 2 の軸の周りを流れる電流（の向き）、31 は、電流 30 により発生する起磁力（の向き）、32 は、起磁力 31 により発生する軸倍角と同じ次数の磁束である。例えば、図 53 のように、回転子 2 の軸の周りを流れる電流 30 があれば、起磁力 31 は、固定子 2 の軸に平行な向きに発生し、結果として、回転角度検出装置 10 の回転子 2 と固定子 1 間に空間 0 次の起磁力が発生することになる。一方、回転子 2 は軸倍角と同数の突極を持っているため、パ

一ミアンスもこの次数で変化するから空間 0 次の起磁力によって軸倍角と同じ次数の磁束が空隙に発生する。また、空間 0 次の磁束も発生する。この磁束を固定子 1 に備えられた巻線が拾うと検出位置誤差が増大し、正しく角度を検出できなくなってしまうという問題点が従来の回転角度検出装置においてはあった。そこで、本実施の形態では、回転子のパーミアンスの変化の空間次数と同じ空間次数の磁束や空間 0 次の起磁力によって発生する磁束を拾わないように出力巻線を構成し、検出位置誤差の増大を防ぐというものである。

具体例として、上述した図 11 の軸倍角 4、ティースの数 9 を挙げる。この場合、空間 0 次の起磁力によって空間 4 次の磁束が発生するから、これを拾わないように巻線を構成すればよいことになる。図 54 に空間 4 次に対するベクトル図を示す。まず、仮想的に 3 相巻線を構成するが、そのときに空間 4 次に対するベクトルの和を零になるようにすればよい。図 15 では U 相巻線はティース番号 1, 5, 6 に施し、かつ極性が 1 と 5, 6 で逆になるようにしているが、ここでさらにティース番号 5, 6 の巻数を 1 のそれと変化させることで、空間 4 次の磁束を拾わなくすることが可能となる。具体的には、ティース番号 5, 6 の巻数  $N_5 = N_6$  とティース番号 1 の巻数  $N_1$  に

$$N_1 = -2 \cos \frac{4\pi}{9} N_5 = -2 \cos \frac{4\pi}{9} N_6 \dots\dots (5)$$

なる関係があればよい。V 相、W 相も同様にして、電気角 120 度ずれた位置関係にすれば 3 相の巻線仕様を決定できる。図 55 にその巻線の一例を示す。さらにこれを 3 相 2 相変換したものが図 56 であり、具体的な巻数を図 57 のようにした。また、図 57 の巻線では出力巻線各相の巻数の合計は極性も考慮すれば 0 になる。よって空間 0 次の磁束も拾わない。このとき回転子位置によって出力電圧がどのように変化するかを図 58 のグラフに示す。この図において、20 は  $\alpha$  相巻線、21 は  $\beta$  相巻線である。電圧は正弦波状の波形で互いに電気角 90 度（機械角 22.5 度）ずれているため、軸倍角 4 の回転角度検出装置として動作

することが確認できた。

また、ここでは軸倍角 4、ティースの数 9 について述べたが、ベクトル図を用いて例えば軸倍角と同じ空間次数の磁束を拾わないようにすればよいから、軸倍角やティースの数によらず同様の効果を得ることができる。

以上により、出力巻線を仮想的に 3 相の巻線を定義してその後 3 相 2 相変換することにより 2 相の出力巻線を得た。これにより、回転角度検出装置として動作することを確認できた。このような構成にすることにより励磁が 3 相で構成される回転角度検出装置に比べて相数が減るため、構造が簡単になり、製造工程が容易になるという効果がある。さらに、従来例であれば軸倍角が 4 の場合、固定子のティースの数が 16 本であったが、本発明によれば、ティースの数が 9 でよい。すなわち、軸倍角が大きくなっても従来例より固定子のティースの数を少なくして回転角度検出装置を構成できるため巻線性、工作性がよく量産性に優れているという効果もある。さらに、従来例で正弦波状に巻数を変化させた場合があったが、この場合、ほんの僅かの巻数を施すティースがあり、そのティースのために時間の要する自動巻きの巻線機のノズルの位置決めをする必要があったので巻線作業効率が低下するという課題があったが、本発明では図 57 からも明らかなように、出力巻線を施さなくともよいティースが複数存在するため、巻線作業効率を向上することができるという効果もある。また、2 相の出力巻線を構成する際に仮想的に構成する多相巻線を 3 相で構成できるので出力巻線の仕様を容易に決定できるという効果がある。

また、さらに、本実施の形態では、2 相の出力巻線が、回転子のパーミアンスの変化の空間次数と同じ空間次数の磁束や空間 0 次の起磁力によって発生する磁束の特定成分を拾わないように出力巻線を構成したので、検出位置誤差の増大を防ぐという効果もある。

#### 実施の形態 7.

これまでは、回転子の形状については特に限定しなかったが、回転子の形状が適切でないと検出位置誤差が大きくなってしまう場合がある。本実施の形態では、回転子の形状によって生じるパーミアンスの変動成分を利用した回転角度検出装

置に関するものであり、上記パーミアンスの変動成分が正弦波状であれば検出位置誤差が小さく、高精度になる。

したがって、回転子の回転軸中心を原点とし回転子外周の位置を表す角度  $\theta$  とするとき、固定子内周と回転子の外周のパーミアンス角度  $\theta$  において、直流成分も含めて

$$A + B \cos(M\theta) \dots \dots \dots (6)$$

となれば、高精度な回転角度検出装置として機能する。ただし、 $A$ 、 $B$ は正の定数で  $A > B$ 、 $M$ は回転角度検出装置の軸倍角とする。空隙長はパーミアンスに逆比例することと式(6)とから、前記角度  $\theta$  の位置における空隙長が

$$\frac{1}{A + B \cos(M\theta)} \dots \dots \dots (7)$$

となるような回転子形状とすれば、空隙のパーミアンスの脈動成分が正弦波状となり高精度な回転角度検出装置を得ることができる。

したがって、本実施の形態によれば、上述の実施の形態1～6と同様の効果が得られるとともに、さらに、出力巻線の巻数を実施の形態1～6で述べたように設定し、回転子を式(7)によって決まる形状としたことで、検出位置誤差をさらに低減することができ、高精度な回転角度検出装置を得ることができるという効果がある。

#### 実施の形態8.

本発明の回転角度検出装置は巻線が回転子と固定子の空隙に生じる磁束を拾うことによって動作するが、回転子の回転軸と固定子中心がずれたとき、あるいは

回転子中心と回転軸がずれたとき、すなわち、偏心や軸ずれが生じたときには、特定次数の磁束成分の影響を受けて検出位置誤差が増大するという可能性がある。偏心や軸ずれによって生じる磁束の次数は、例えば次のようなものがある。

(励磁の起磁力の次数)  $\pm 1$

励磁の起磁力の次数とは励磁巻線に流れる電流によって発生する起磁力の空間次数である。例えば、励磁が6極であれば、励磁の起磁力の次数が3となる。このとき、上式より

$$3 \pm 1 = 2, 4$$

となるから、空間2次、4次の磁束が発生する。従来例ではこのように偏心によって生じる次数の磁束を出力巻線が拾うことがあり検出位置誤差の増大を招くという課題を抱えていた。そこで、本実施の形態ではこのような偏心や軸ずれによって発生する磁束の特定成分を拾わない巻線仕様の構成について述べる。

図59に固定子のティースの数12、軸倍角8の例を示す。図59において、1は固定子、2は回転子、3は固定子1に設けられた12本のティース、4は固定子1の鉄心、5はティース3に巻き回された巻線、6は回転子2の鉄心、7は鉄心6に設けられた8つの突極、10は回転角度検出装置である。実施の形態5と同様に励磁巻線は6極となるように施されている。このとき、既に述べたように、励磁巻線が6極の場合、偏心や軸ずれによって空隙に空間2次、4次の磁束が発生する。この2つの成分を拾わない出力巻線の構成をベクトル図を用いて考える。空間2次、4次に対するベクトル図を図60、61にそれぞれ示す。12本のティースのそれぞれに施された巻線が空間2次、4次の磁束をどの位相で鎖交するかについて示している。このベクトル図から読み取れることは、例えばティース番号1, 3, 5のように、 $n, n+2, n+4$  ( $n=1, 2, 3, \dots$ ) なる関係で表されるティースに施された巻線に鎖交する磁束のベクトルは互いに電気角120度ずれていてその和は0になるということである。仮想的に3相巻線を構成する際に、このように空間2次、4次の磁束のベクトル和が0になる組み合わせを選択すれば、3相2相変換によって得られる2相の出力巻線も空間2次、4次の磁束を拾わないことになる。すなわち、偏心や軸ずれが起こっても、それに伴い生じる磁束の特定成分を拾わないので検出位置誤差の増

大が防ぐことができると考えられる。

ここで、具体的な巻線仕様の例を挙げておく。図62、63、64に仮想的に構成した3相巻線の例を示す。U相V相W相はそれぞれ電気角120度ずつずれた位置関係にあり、さらに各相の巻線は既に述べたように、ティース番号1, 3, 5のように、 $n, n+2, n+4$  ( $n=1, 2, 3 \dots$ ) なる関係で表されるティース番号に巻線を施すことにより構成されている。図62ではU相はティース番号1, 3, 5で構成され、図63ではU相はティース番号1, 3, 5と2, 4, 6で構成され、図64ではティース番号1, 3, 5と8, 10, 12で構成されている。V相、W相についてはU相と電気角 $\pm 120$ 度ずれた位置関係になるように構成されている。これらを3相2相変換によって2相の出力巻線に変換したものを図65, 66, 67に示す。さらに具体的な巻数の例を図68, 69, 70に示した。

これら3通りの巻線仕様（その1、その2、その3）の回転角度検出装置において、回転子と固定子の間に0.10mmの偏心が生じた場合と偏心のない理想的な場合について検出位置誤差を示したのが図71である。比較のために従来の巻線仕様の結果も示している。この結果から、従来の巻線仕様では偏心によって検出位置誤差が著しく増大していたが、本実施の形態の巻線仕様では、偏心が生じて検出位置誤差がほとんど変化せず、従来例よりはるかに高精度な回転角度検出装置として機能していることが一目瞭然である。

ここでは、固定子のティースの数が12、軸倍角が8の例について述べたが、ここで示した以外の巻数によっても同様の効果が得られる巻線仕様があり、また他のティースの数、軸倍角でも偏心や軸ずれによって発生する空隙磁束の特定次数成分を拾わないように出力巻線を構成すれば同様の効果が得られることはいうまでもない。

以上のように、本実施の形態においては、上述の実施の形態1～7と同様の効果が得られるとともに、さらに、出力巻線の構成を本実施の形態で述べたような構成にすることで、回転子の回転軸と固定子中心がずれたとき、すなわち偏心や軸ずれが生じたときに発生する磁束密度の特定成分を拾わないので検出位置誤差の増大を防ぐことができる。また、取り付け位置誤差や偏心、軸ずれなどによっ

て検出位置誤差が大きくなることにより、取り付け位置精度向上に掛かるコストを低減することができるという効果もある。また、ここで述べた巻線仕様は軸倍角が大きくなっても従来例より固定子のティースの数を少なくして回転角度検出装置を構成できるため巻線性、工作性がよく量産性に優れているという効果もあることはいうまでもない。さらに、従来例で正弦波状に巻数を変化させた場合があったが、この場合、ほんの僅かの巻数を施すティースがあり、そのティースのために時間の要する自動巻きの巻線機のノズルの位置決めをする必要があったので巻線作業効率が低下するという課題があったが、本発明では図68、69、70からも明らかなように、出力巻線を施さなくともよいティースが複数存在するため、巻線作業効率を向上することができるという効果もあることはいうまでもない。

#### 実施の形態9.

本実施の形態においては、上述の実施の形態1～8で説明した本発明の回転角度検出装置を発電機やモータ等の種々の回転電機に用いた場合について説明する。上述の実施の形態1～8では多相2相変換を用いて巻線を構成することにより、軸倍角が増えても従来例より固定子のティースの数が少なくてすみ、量産性に優れた回転角度検出装置を得ることができる述べた。このような回転角度検出装置は光学式エンコーダに比べて安価で耐環境性に優れているので、モータや発電機などの回転電機に設けられた回転角度センサとして用いれば、安価で耐環境性にすぐれたシステムを構築することができるという効果がある。例えば車両用ベルト駆動式ISG (Integrated Starter Generator) に本発明の回転角度検出装置を組み込むことが考えられる。

図72に爪形状の界磁鉄心を有する発電機に本発明の回転角度検出装置を組み込んだ図を示す。図72において、1は回転角度検出装置10の固定子、2は回転角度検出装置10の回転子、5はティース3に巻き回された励磁巻線、8は出力巻線、40は発電機（あるいは、モータ）、41は発電機40の界磁鉄心、42は軸、43は軸受け、44は界磁巻線（界磁電流が流れる）、45は発電機40の固定子である。

ベルト駆動式 I S G のシステムでは発電機（モータとしても動作する）はエンジンルームに配置されるため、高温になり光学式エンコーダは適していない。またシステムとして高価になってしまう。そこで、鉄心と巻線で構成される本発明の回転角度検出装置を用いれば、耐環境性に優れ、安価で、精巧なシステムを構築することができる。また、上述したように、本発明の回転角度検出装置は製造工程が容易であるため、それを用いた回転電機の製造工程も少なくともその分だけ容易になる。

さらに、爪形状の界磁鉄心を有するモータあるいは発電機は、界磁電流が図 5 3 に示したように流れ、回転角度検出装置の空隙に空間 0 次の起磁力を発生させてしまう。従って、空隙に軸倍角と同じ空間次数の磁束が発生し、従来の技術では出力巻線がこの成分を拾ってしまい、検出位置誤差の増大につながった。しかしながら、本発明の実施の形態 6 で述べたように、軸倍角と同じ次数の磁束を拾わないように巻線を構成しておけば検出位置誤差の増大を防ぐことができるという効果が得られる。

また、ここでは爪形状の界磁鉄心を具備したモータあるいは発電機についてのみ述べたが、一般のモータや発電機においても空間 0 次の起磁力が発生してしまうことがあるので、本発明の回転角度検出装置を用いることで検出位置誤差の増大を防ぐことができるということはいうまでもない。

また、取り付け位置誤差などの工作誤差により回転子の偏心が生じることがあるが、実施の形態 8 で述べたように偏心や軸ずれによって発生する空隙磁束の特定次数成分を出力巻線が拾わないように構成されているため、偏心や軸ずれによる検出位置誤差の増大を防ぐことができるという効果がある。さらに、取り付け位置誤差や偏心、軸ずれなどによって検出位置誤差が大きくなることにより、取り付け位置精度向上に掛かるコストを低減することができるという効果もある。

なお、上記の実施の形態 1 ～ 9 においては、予め仮想的に定義した多相の巻数を 2 相に変換することによって巻数が得られる 2 相の出力巻数の固定子を有する回転角度検出装置を例に挙げて説明したが、その場合に限らず、多相の巻数は、仮想的にではなく、実際に定義されるものでもよく、また、いかなる別の方法で得られるものでもよいものとし、その場合も上記と同様の効果を得ることができ

る。

#### 産業上の利用可能性

以上のように、この発明に係る回転角度検出装置は、車両用ベルト駆動式 I S G (Integrated Starter Generator) のみならず、種々の他のモータにも幅広く活用できる回転角度検出器として有用である。

## 請 求 の 範 囲

1. 1相の励磁巻線と2相の出力巻線とを設けた固定子と、突極を有する回転子とから構成された回転角度検出装置であって、

上記2相の出力巻線は上記固定子の複数のティースに巻き回されており、

上記2相の出力巻線の各々の巻数は、予め定義されたm相の巻線（mは3以上の整数）を用いて、そのm相の巻線の巻数を2相に変換することによって得られることを特徴とする回転角度検出装置。

2. 上記m相の巻線（mは3以上の整数）の巻数を2相に変換するとき、

$$N_{\alpha i} = k \sum_{n=1}^m N_{ni} \cos\left(\gamma + \frac{2(n-1)}{m} \pi\right)$$

$$N_{\beta i} = k \sum_{n=1}^m N_{ni} \sin\left(\gamma + \frac{2(n-1)}{m} \pi\right)$$

（ $\gamma$ は任意の定数、 $k$ は零でない任意の定数、添字の $i$ はティースの番号、 $\alpha$ 、 $\beta$ は変換後の2相巻線、 $n$ は変換前の第 $n$ 相を示す。すなわち、 $N_{\alpha i}$ 、 $N_{\beta i}$ はそれぞれ $i$ 番目のティースにおける $\alpha$ 相、 $\beta$ 相巻線の巻数、 $N_{ni}$ は $i$ 番目のティースの第 $n$ 相巻線の巻数を表す。）なる変換式によって変換する

ことを特徴とする請求項1に記載の回転角度検出装置。

3. 上記固定子のティースの個数を $3n$ （ $n$ は自然数）としたことを特徴とする請求項1または2に記載の回転角度検出装置。

4. 上記固定子のティースの個数が奇数個の場合、上記励磁巻線の巻線パターンは、上記ティースの個数の約数の値と同じ数の回数だけ繰り返したパターンとなっていることを特徴とする請求項1または2に記載の回転角度検出装置。

5. 上記固定子のティースの個数を9とし、軸倍角を4あるいは8のいずれか一方としたことを特徴とする請求項3または4に記載の回転角度検出装置。

6. 固定子のティースの個数を12とし、軸倍角を4あるいは8のいずれか一方としたことを特徴とする請求項3に記載の回転角度検出装置。

7. 上記2相の出力巻線は、上記回転子のパーミアンスの変化の空間次数と同じ空間次数の磁束や空間0次の磁束を拾わないように巻数を調整することを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の回転角度検出装置。

8. 上記2相の出力巻線が、回転子の回転軸と固定子の中心がずれたとき、あるいは、上記回転子の中心と回転軸とがずれたときに発生する空隙磁束の特定成分を拾わないように巻数を調整したことを特徴とする請求項1ないし7のいずれかに記載の回転角度検出装置。

9. 請求項1ないし8のいずれかに記載の回転角度検出装置を備えたことを特徴とする回転電機。

図 1

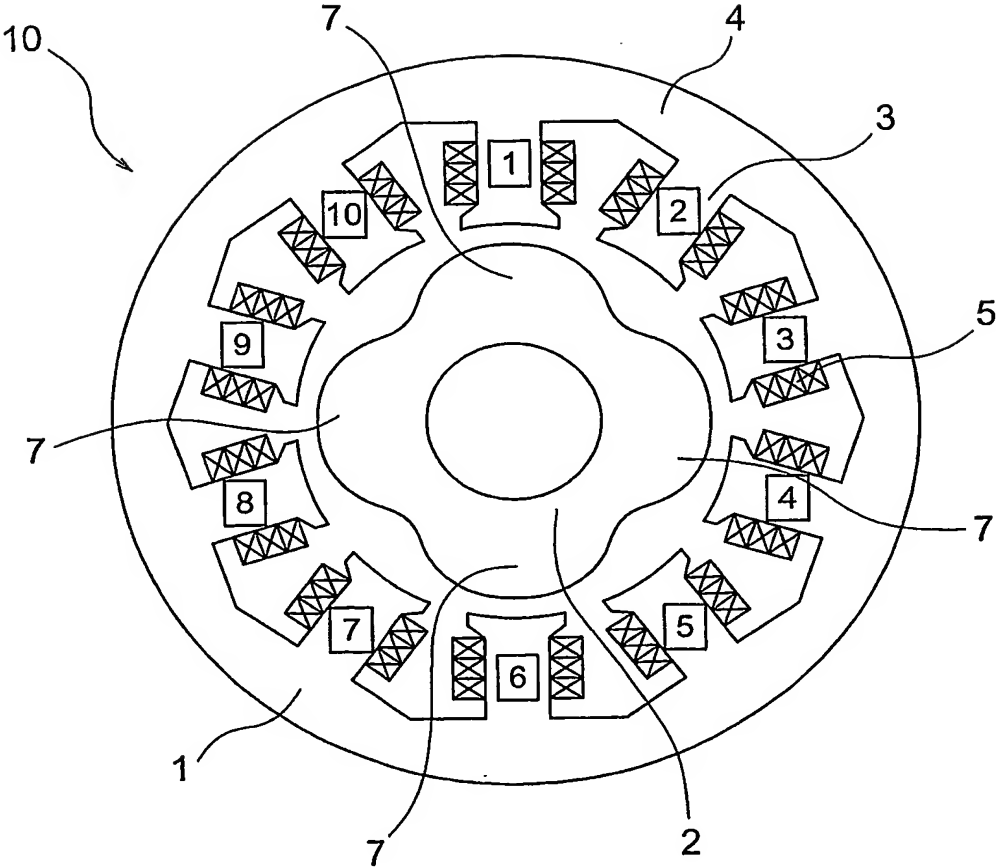


図 2

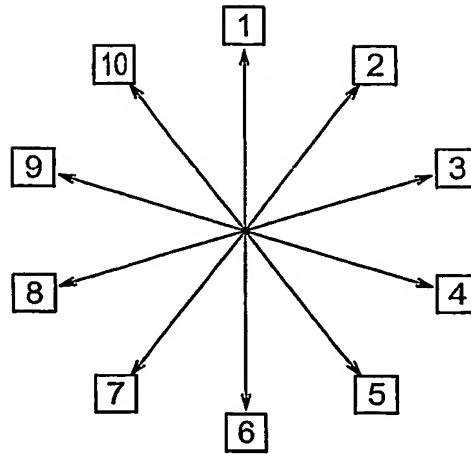


図 3

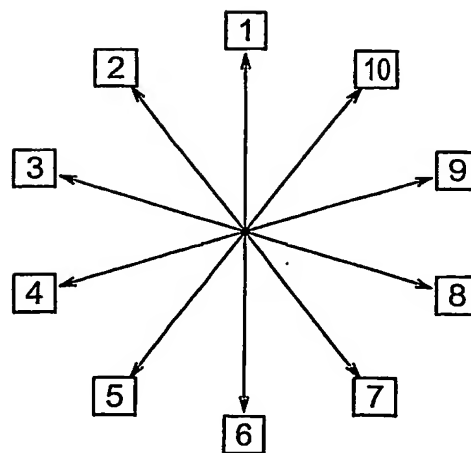


図 4

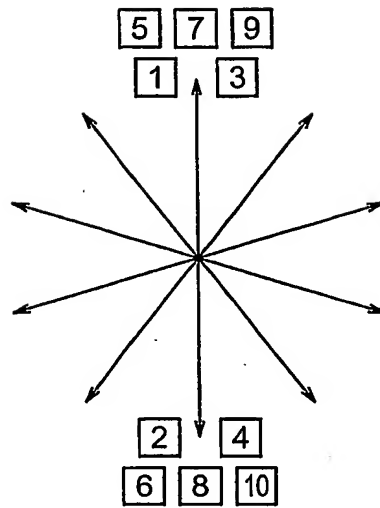


図 5

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
励磁巻線	1.0	-1.0	1.0	-1.0	1.0	-1.0	1.0	-1.0	1.0	-1.0
第1相	1.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.0
第2相	0.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
第3相	-1.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
第4相	-1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0
第5相	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0

図 6

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
励磁巻線	1.0	-1.0	1.0	-1.0	1.0	-1.0	1.0	-1.0	1.0	-1.0
$\alpha$ 相巻線	2.6180	0.0000	0.8090	0.0000	-2.1180	0.0000	-2.1180	0.0000	0.8090	0.0000
$\beta$ 相巻線	0.0000	0.0000	-2.4899	0.0000	-1.5388	0.0000	1.5388	0.0000	2.4899	0.0000

図 7

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
励磁巻線	50	-50	50	-50	50	-50	50	-50	50	-50
$\alpha$ 相巻線	261.80	0.00	80.90	0.00	-211.80	0.00	-211.80	0.00	80.90	0.00
$\beta$ 相巻線	0.00	0.00	-248.99	0.00	-153.88	0.00	153.88	0.00	248.99	0.00

図 8

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
励磁巻線	50	-50	50	-50	50	-50	50	-50	50	-50
$\alpha$ 相巻線	262	0	81	0	-212	0	-212	0	81	0
$\beta$ 相巻線	0	0	-249	0	-154	0	154	0	249	0

図 9

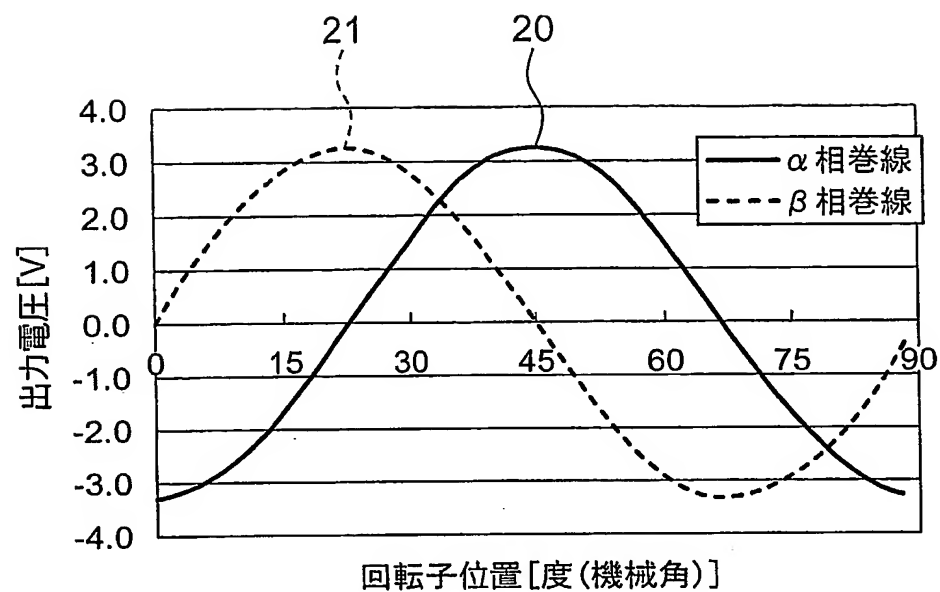


図 10

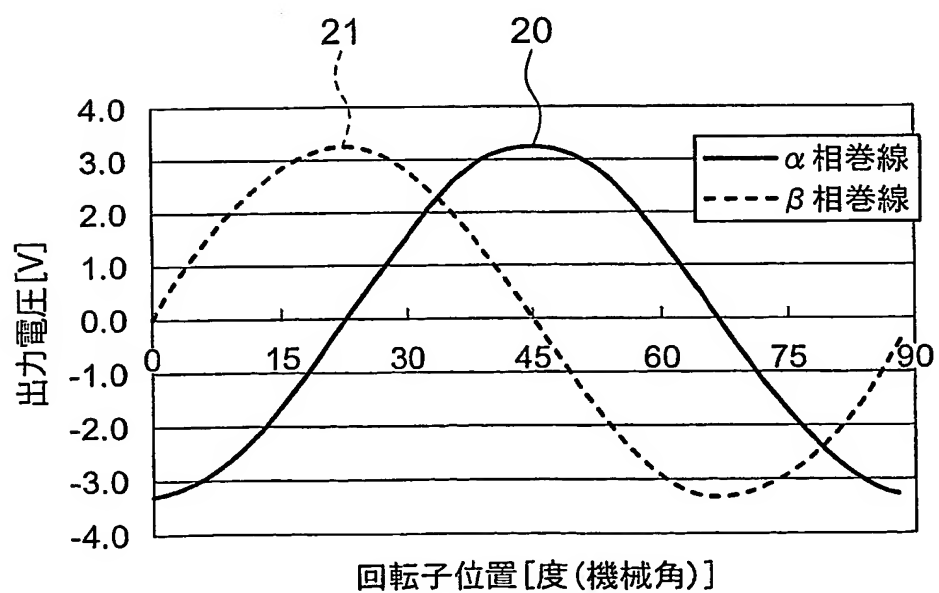


図 11

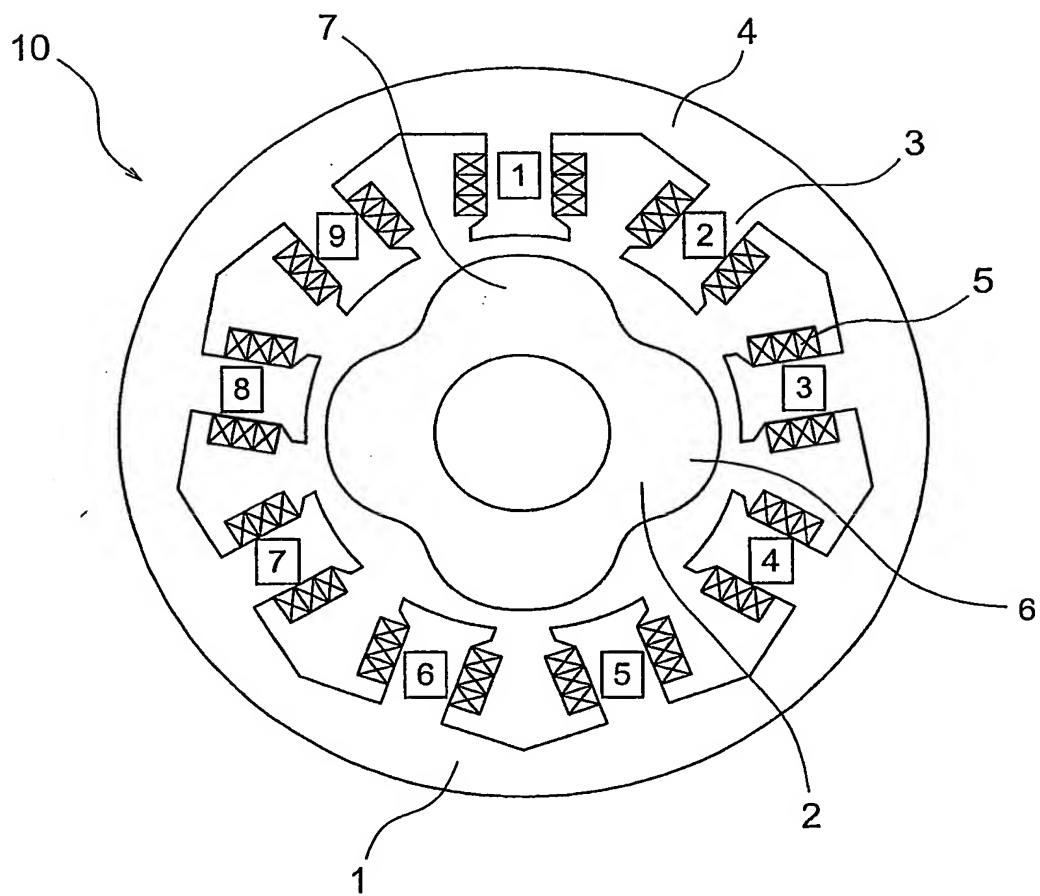


図 1 2

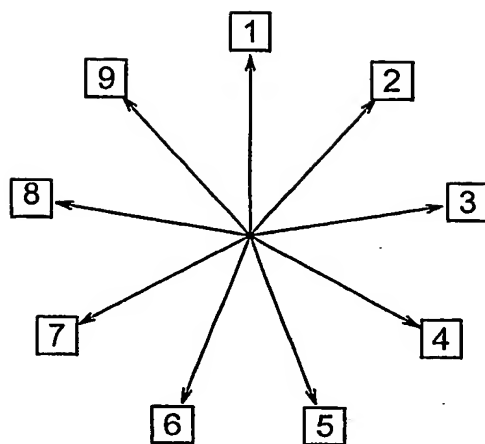


図 1 3

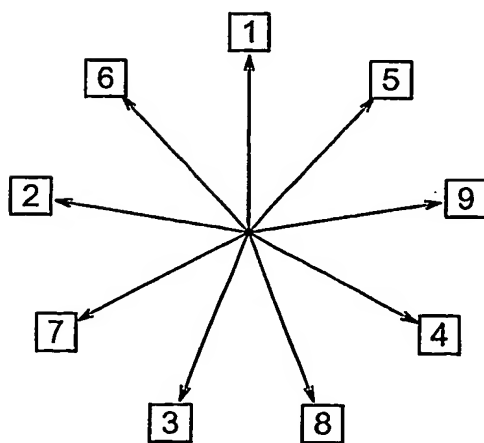


図 14

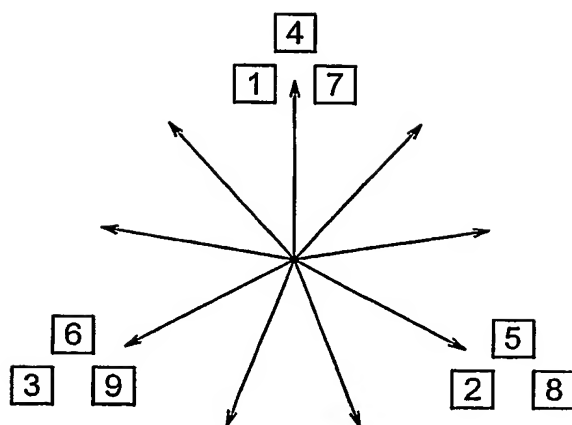


図 1 5

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	1.0	-0.5	-0.5	1.0	-0.5	-0.5	1.0	-0.5	-0.5
U相	1.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0
V相	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0
W相	0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0

図 1 6

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	1.0000	-0.5000	-0.5000	1.0000	-0.5000	-0.5000	1.0000	-0.5000	-0.5000
$\alpha$ 相巻線	0.8165	0.4082	0.4082	-0.4082	-0.8165	-0.8165	-0.4082	0.4082	0.4082
$\beta$ 相巻線	0.0000	0.7071	0.7071	0.7071	0.0000	0.0000	-0.7071	-0.7071	-0.7071

図 1 7

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	50.00	-25.00	-25.00	50.00	-25.00	-25.00	50.00	-25.00	-25.00
$\alpha$ 相巻線	122.47	61.24	61.24	-61.24	-122.47	-122.47	-61.24	61.24	61.24
$\beta$ 相巻線	0.00	106.07	106.07	106.07	0.00	0.00	-106.07	-106.07	-106.07

図 1 8

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	50	-25	-25	50	-25	-25	50	-25	-25
$\alpha$ 相巻線	122	61	61	-61	-122	-122	-61	61	61
$\beta$ 相巻線	0	106	106	106	0	0	-106	-106	-106

図 19

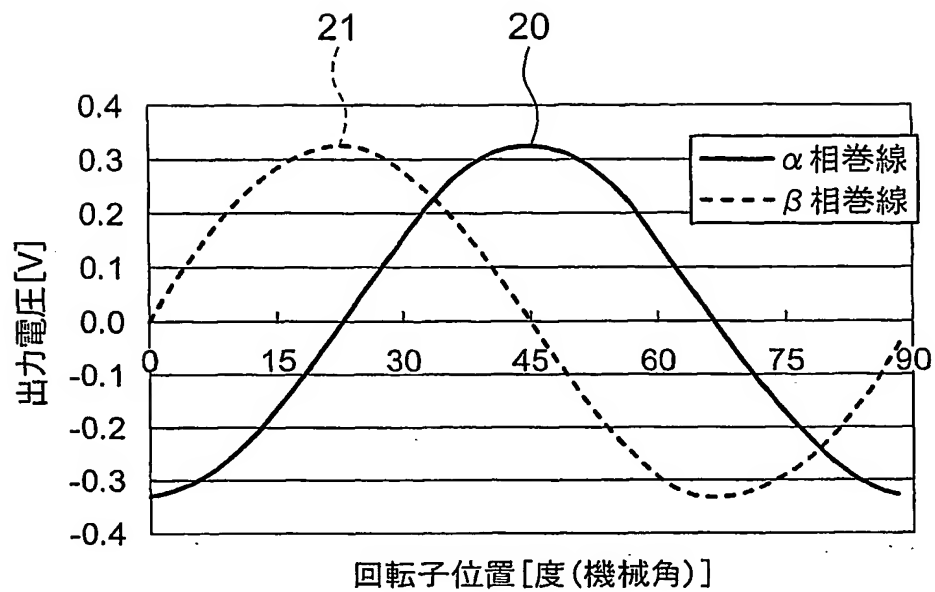


図 20

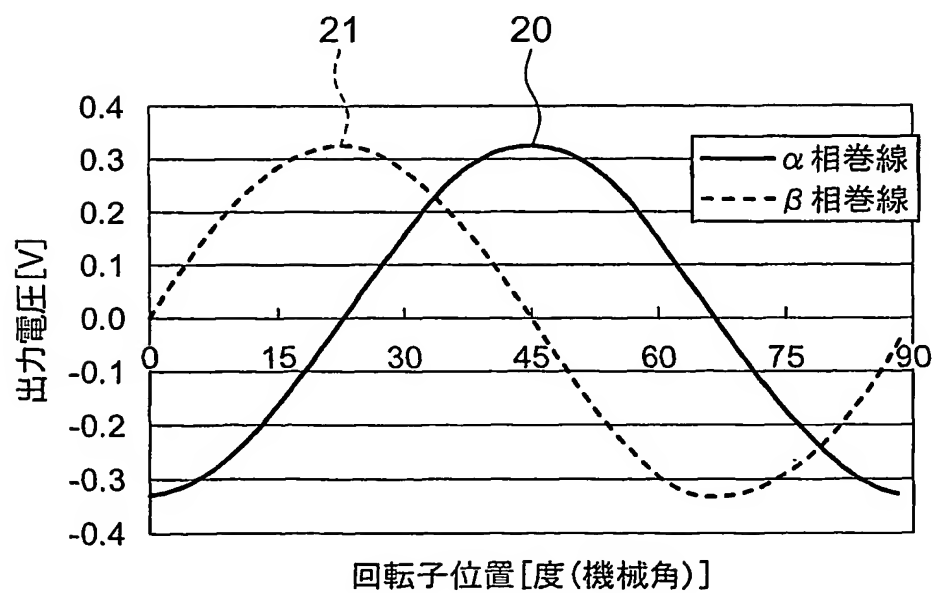


図 21

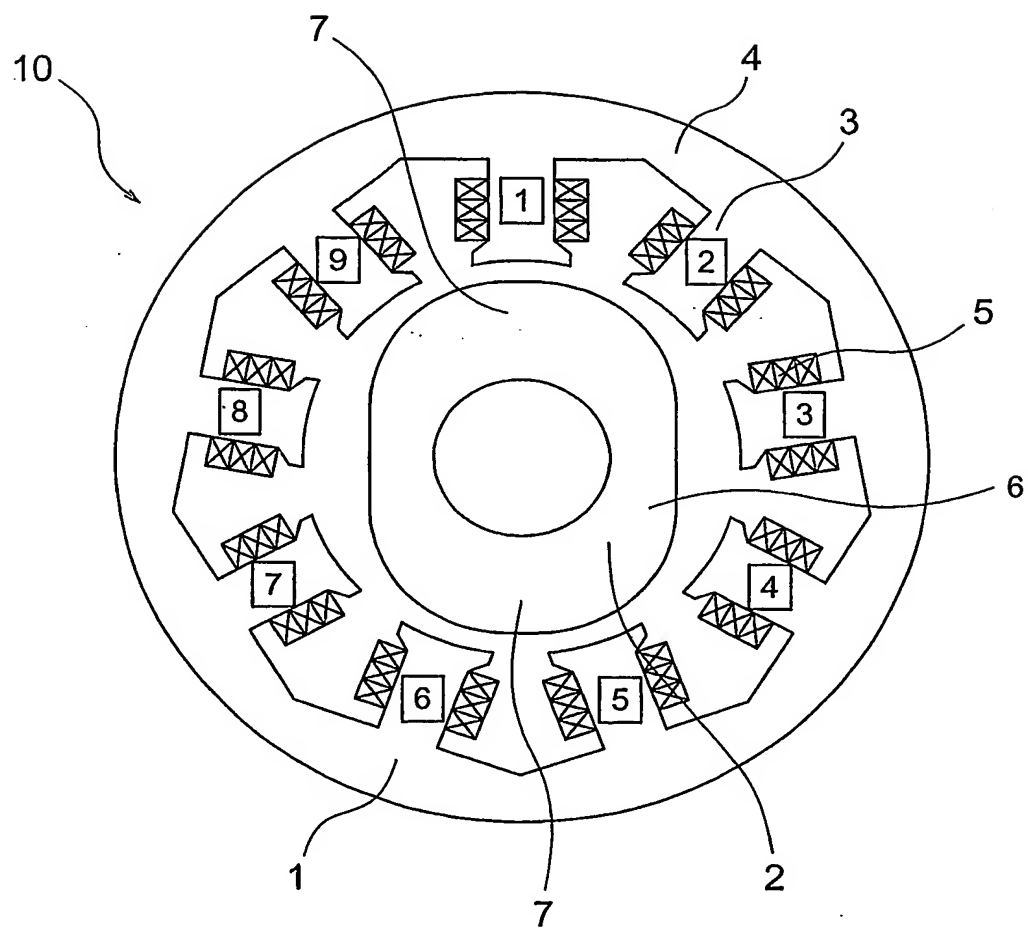


図 2 2

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	1.0	-0.5	-0.5	1.0	-0.5	-0.5	1.0	-0.5	-0.5
U相	1.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0
V相	0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
W相	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0

図 2 3

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	1.0000	-0.5000	-0.5000	1.0000	-0.5000	-0.5000	1.0000	-0.5000	-0.5000
$\alpha$ 相巻線	0.8165	0.4082	0.4082	-0.4082	-0.8165	-0.8165	-0.4082	0.4082	0.4082
$\beta$ 相巻線	0.0000	-0.7071	-0.7071	-0.7071	0.0000	0.0000	0.7071	0.7071	0.7071

図 2 4

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	50.00	-25.00	-25.00	50.00	-25.00	-25.00	50.00	-25.00	-25.00
$\alpha$ 相巻線	122.47	61.24	61.24	-61.24	-122.47	-122.47	-61.24	61.24	61.24
$\beta$ 相巻線	0.00	-106.07	-106.07	-106.07	0.00	0.00	106.07	106.07	106.07

図 2 5

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	50	-25	-25	50	-25	-25	50	-25	-25
$\alpha$ 相巻線	122	61	61	-61	-122	-122	-61	61	61
$\beta$ 相巻線	0	-106	-106	-106	0	0	106	106	106

図 2 6

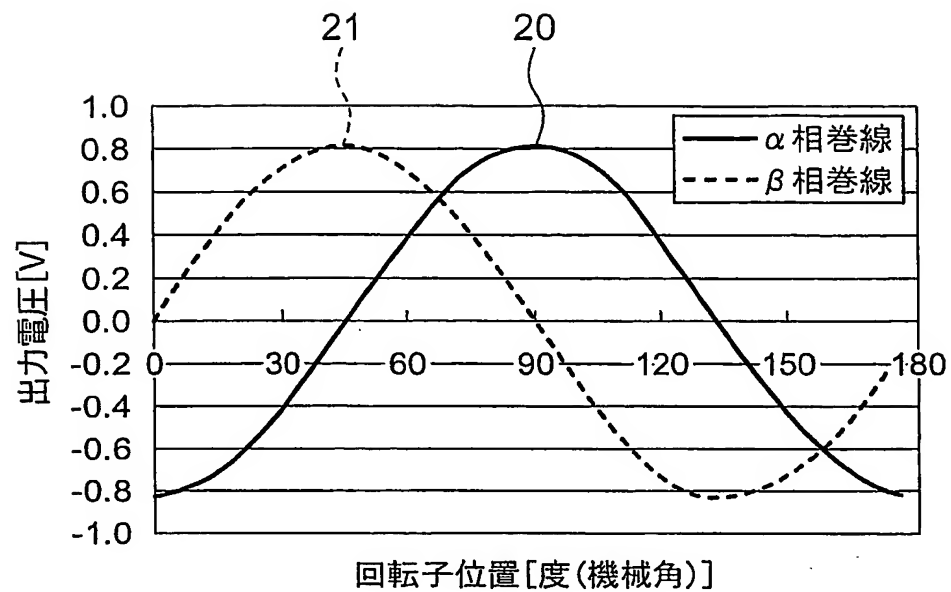


図 2 7

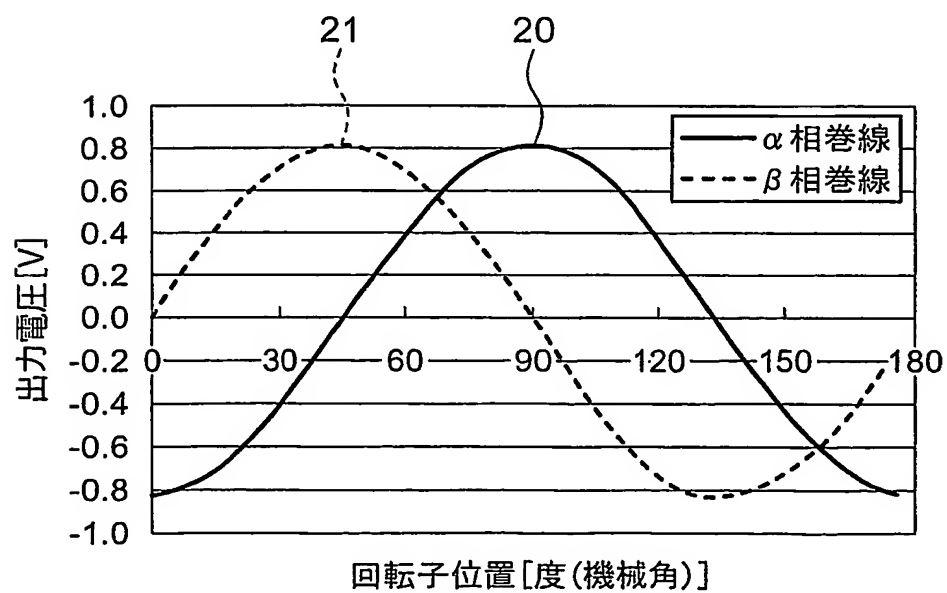


図 28

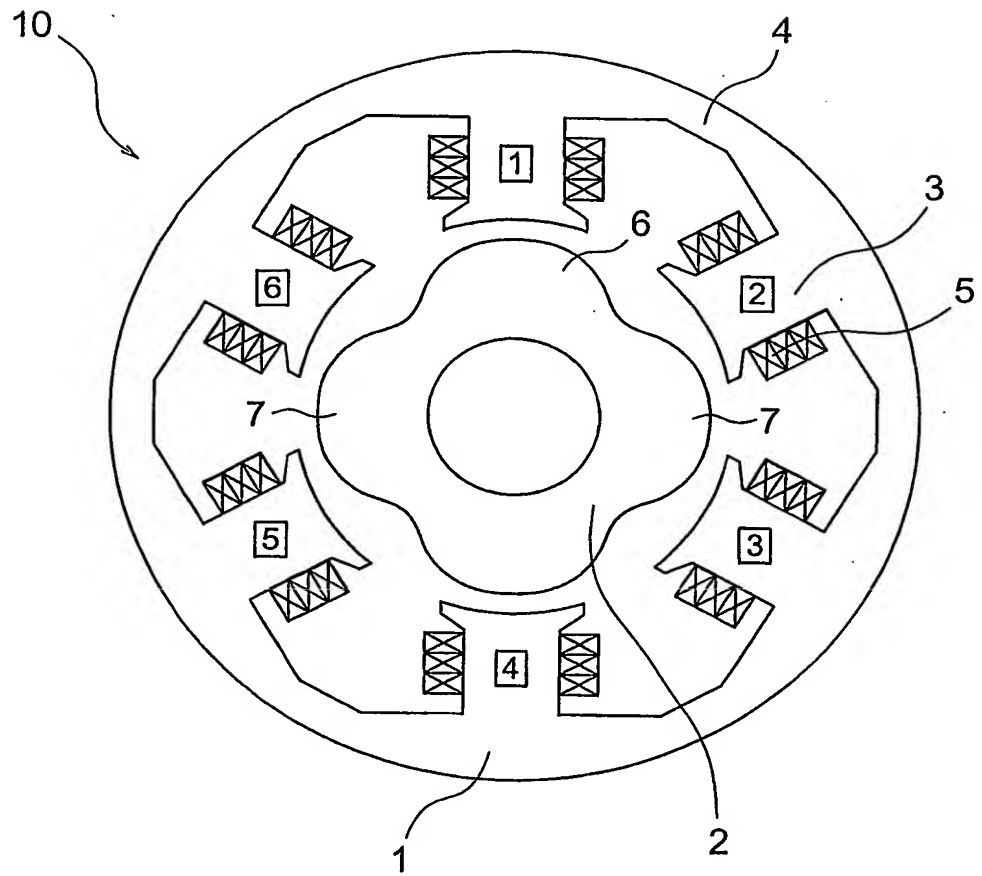


図 29

テース番号	1	2	3	4	5	6
励磁巻線	1.0	-1.0	1.0	-1.0	1.0	-1.0
U相	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
V相	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0
W相	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0

図 30

テース番号	1	2	3	4	5	6
励磁巻線	1.0000	-1.0000	1.0000	-1.0000	1.0000	-1.0000
$\alpha$ 相巻線	0.4082	0.8165	0.4082	-0.4082	-0.8165	-0.4082
$\beta$ 相巻線	-0.7071	0.0000	0.7071	0.7071	0.0000	-0.7071

図 31

テース番号	1	2	3	4	5	6
励磁巻線	50	-50	50	-50	50	-50
$\alpha$ 相巻線	61	122	61	-61	-122	-61
$\beta$ 相巻線	-106	0	106	106	0	-106

図 3 2

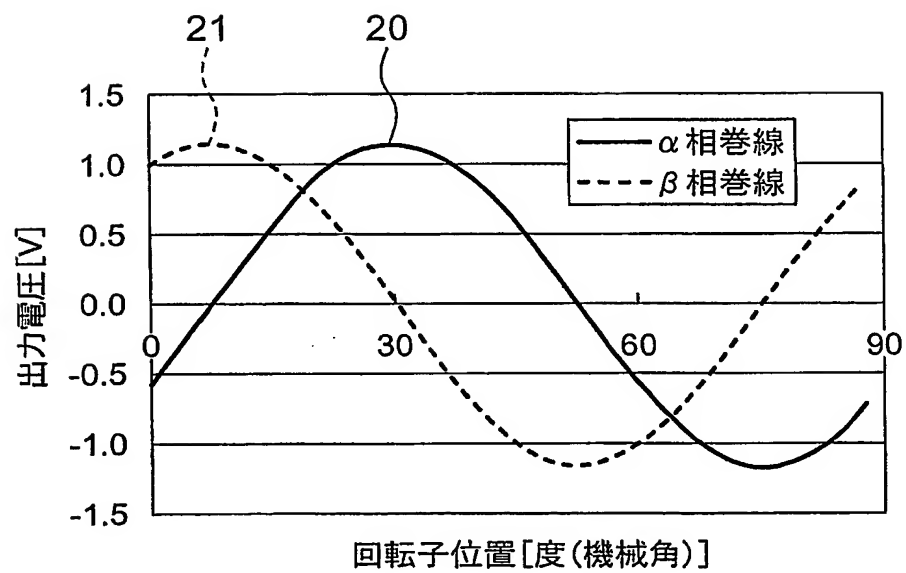




図 3 4

テース番号	1	2	3	4	5	6
励磁巻線	1.0	-1.0	1.0	-1.0	1.0	-1.0
U相	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
V相	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
W相	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0

図 3 5

テース番号	1	2	3	4	5	6
励磁巻線	1.0000	-1.0000	1.0000	-1.0000	1.0000	-1.0000
$\alpha$ 相巻線	0.4082	0.8165	0.4082	-0.4082	-0.8165	-0.4082
$\beta$ 相巻線	0.7071	0.0000	-0.7071	-0.7071	0.0000	0.7071

図 3 6

テース番号	1	2	3	4	5	6
励磁巻線	50	-50	50	-50	50	-50
$\alpha$ 相巻線	61	122	61	-61	-122	-61
$\beta$ 相巻線	106	0	-106	-106	0	106

図 37

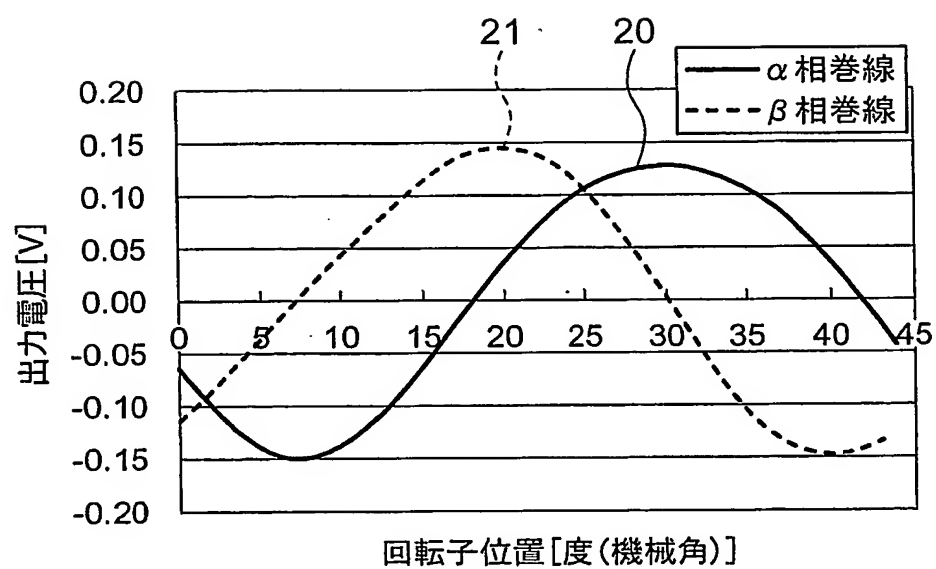


図 38

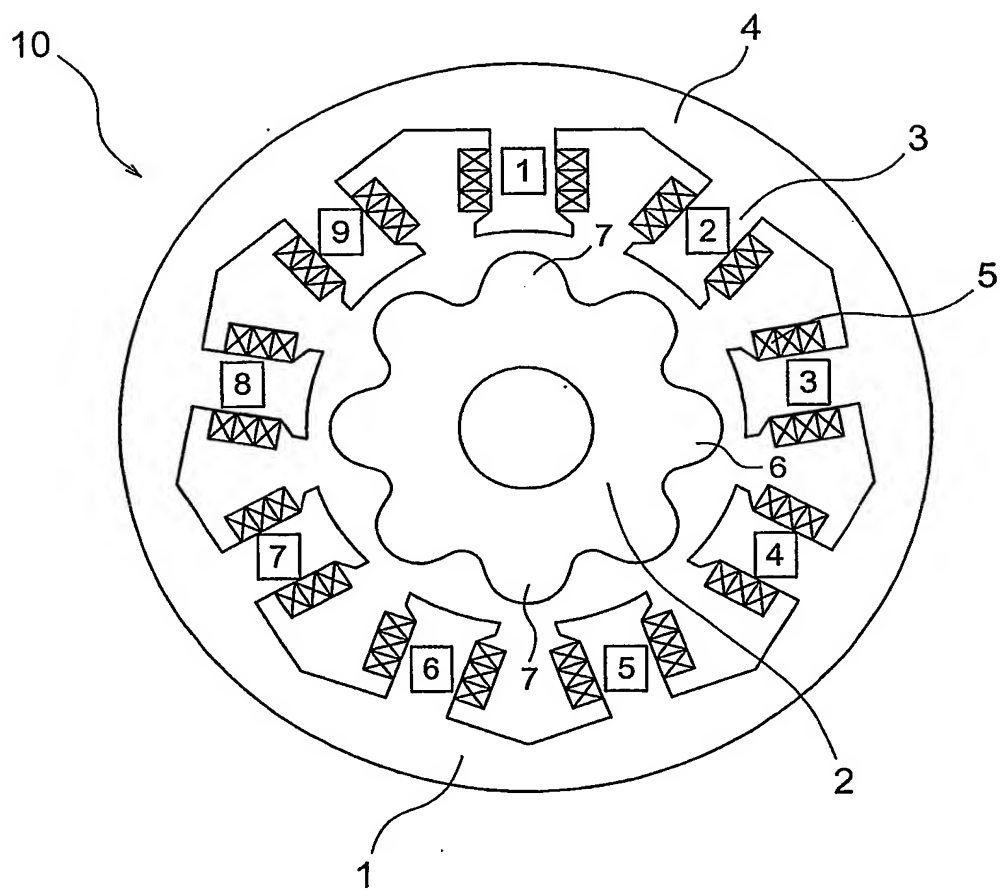


図 39

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	1.0	-0.5	-0.5	1.0	-0.5	-0.5	1.0	-0.5	-0.5
U相	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0
V相	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	1.0	-1.0	0.0
W相	0.0	0.0	-1.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0

図 40

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	1.0000	-0.5000	-0.5000	1.0000	-0.5000	-0.5000	1.0000	-0.5000	-0.5000
$\alpha$ 相巻線	0.8165	-0.8165	0.4082	-0.4082	0.4082	0.4082	-0.4082	0.4082	-0.8165
$\beta$ 相巻線	0.0000	0.0000	0.7071	-0.7071	0.7071	-0.7071	0.7071	-0.7071	0.0000

図 41

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	50	-25	-25	50	-25	-25	50	-25	-25
$\alpha$ 相巻線	122	-122	61	-61	61	61	-61	61	-122
$\beta$ 相巻線	0	0	106	-106	106	-106	106	-106	0

図 4 2

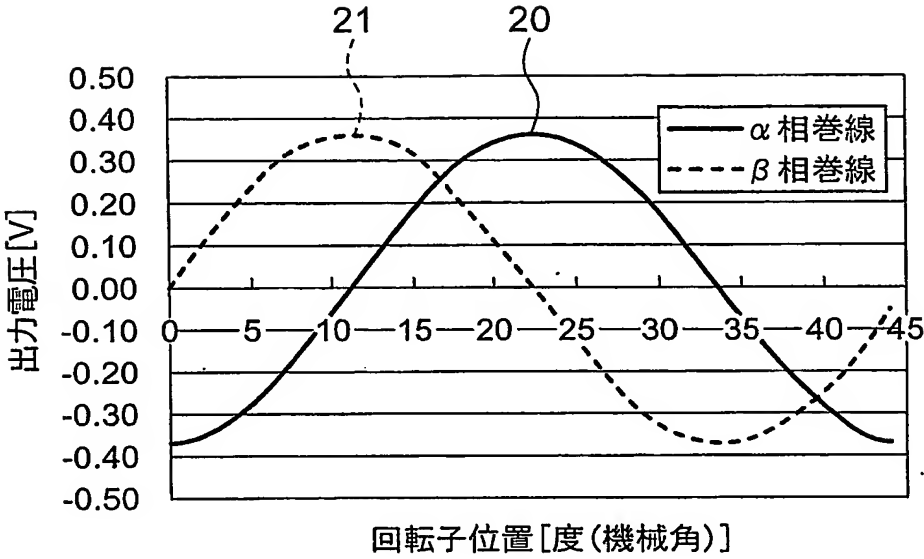




図 4 4

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0
U相巻線	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V相巻線	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
W相巻線	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0

図 4 5

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0
$\alpha$ 相巻線	0.8165	0.8165	0.8165	0.0000	-0.4082	-0.4082	-0.4082	0.0000	-0.4082	-0.4082	-0.4082	0.0000
$\beta$ 相巻線	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.7071	0.7071	0.7071	0.0000	-0.7071	-0.7071	-0.7071	0.0000

図 4 6

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0
$\alpha$ 相巻線	122	122	122	0	-61	-61	-61	0	-61	-61	-61	0
$\beta$ 相巻線	0	0	0	0	106	106	106	0	-106	-106	-106	0

図 47

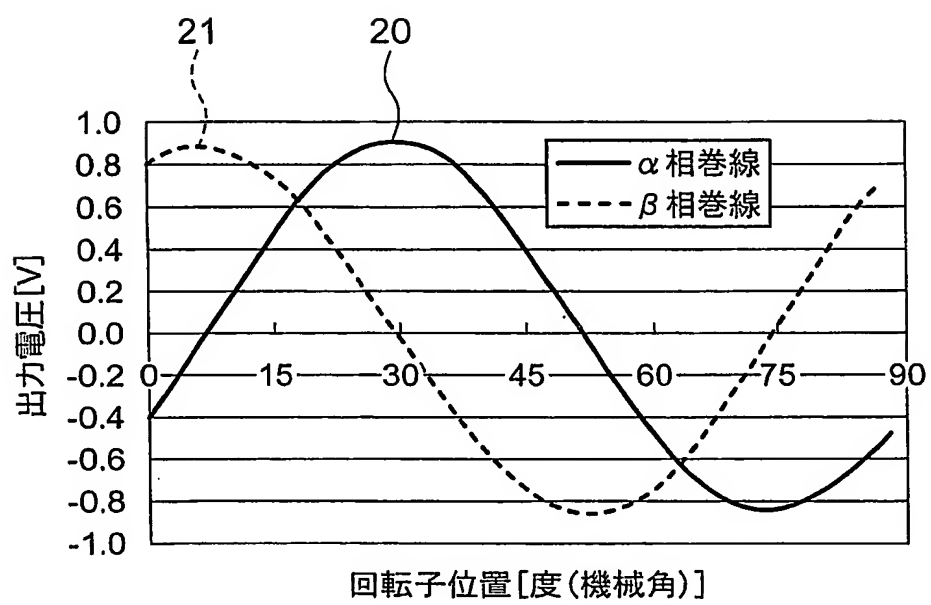


図 48

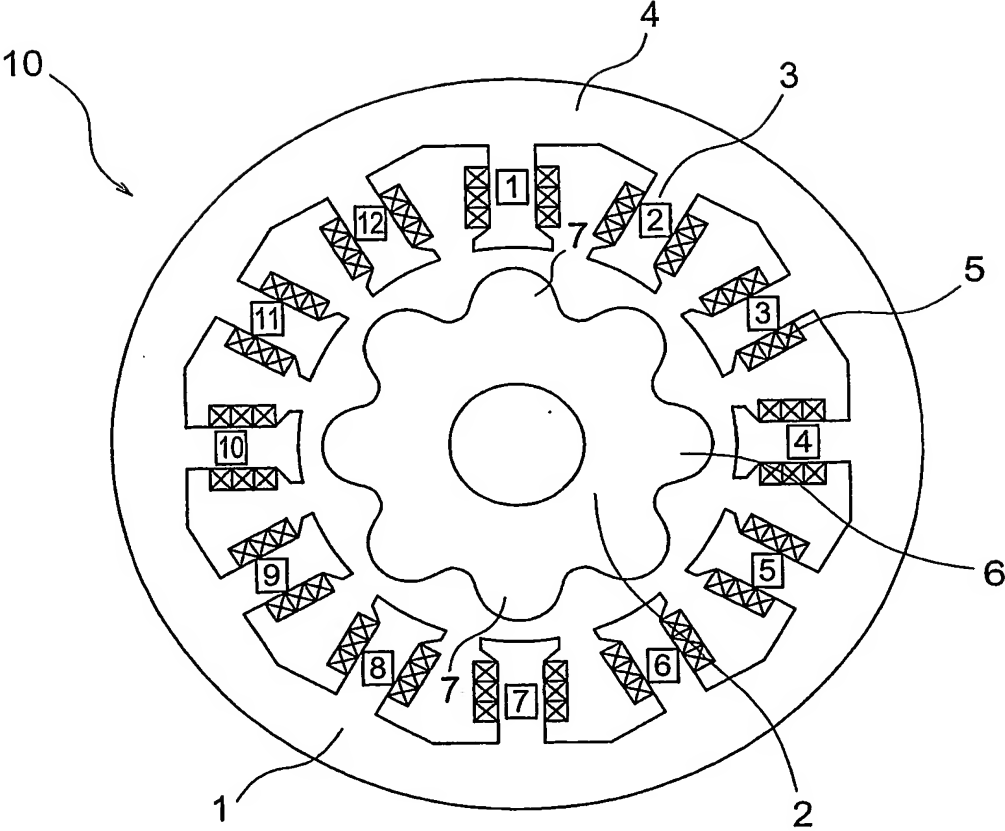


図 4 9

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0
U相巻線	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V相巻線	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0
W相巻線	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

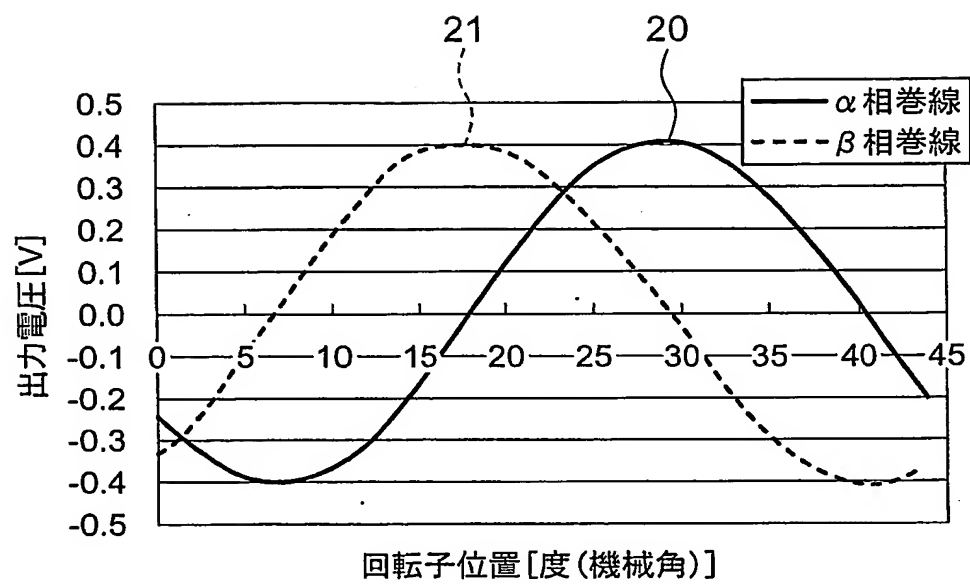
図 5 0

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0
$\alpha$ 相巻線	0.8165	0.8165	0.8165	0.0000	-0.4082	-0.4082	-0.4082	0.0000	-0.4082	-0.4082	-0.4082	0.0000
$\beta$ 相巻線	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.7071	-0.7071	-0.7071	0.0000	0.7071	0.7071	0.7071	0.0000

図 5 1

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0
$\alpha$ 相巻線	122	122	122	0	-61	-61	-61	0	-61	-61	-61	0
$\beta$ 相巻線	0	0	0	0	-106	-106	-106	0	106	106	106	0

図 5 2



53

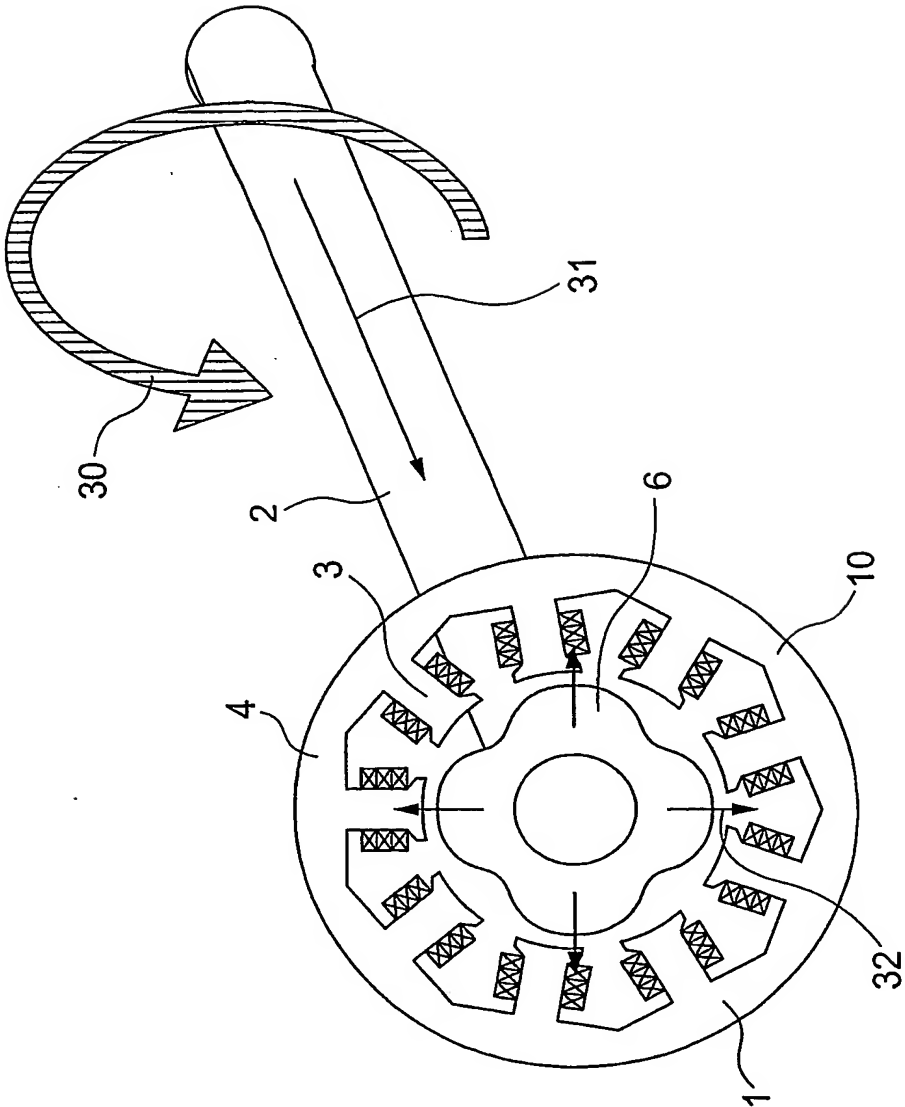


図 5 4

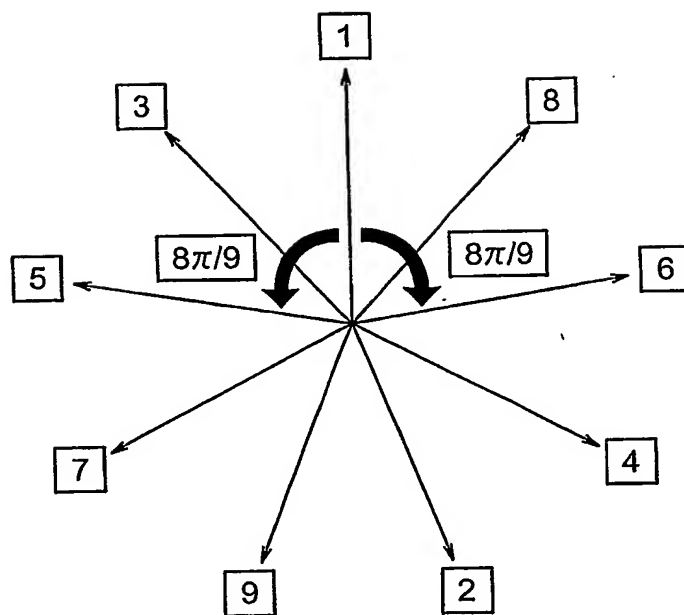


図 5 5

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	1.0	-0.5	-0.5	1.0	-0.5	-0.5	1.0	-0.5	-0.5
U相巻線	$2\cos\frac{4\pi}{9}$	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0
V相巻線	0.0	0.0	0.0	$2\cos\frac{4\pi}{9}$	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0
W相巻線	0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	$2\cos\frac{4\pi}{9}$	0.0	0.0

図 5 6

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	1.0	-0.5	-0.5	1.0	-0.5	-0.5	1.0	-0.5	-0.5
$\alpha$ 相巻線	0.2836	0.4082	0.4082	-0.1418	-0.8165	-0.8165	-0.1418	0.4082	0.4082
$\beta$ 相巻線	0.0000	0.7071	0.7071	0.2456	0.0000	0.0000	-0.2456	-0.7071	-0.7071

図 5 7

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
励磁巻線	50	-25	-25	50	-25	-25	50	-25	-25
$\alpha$ 相巻線	43	61	61	-21	-122	-122	-21	61	61
$\beta$ 相巻線	0	106	106	37	0	0	-37	-106	-106

図 58

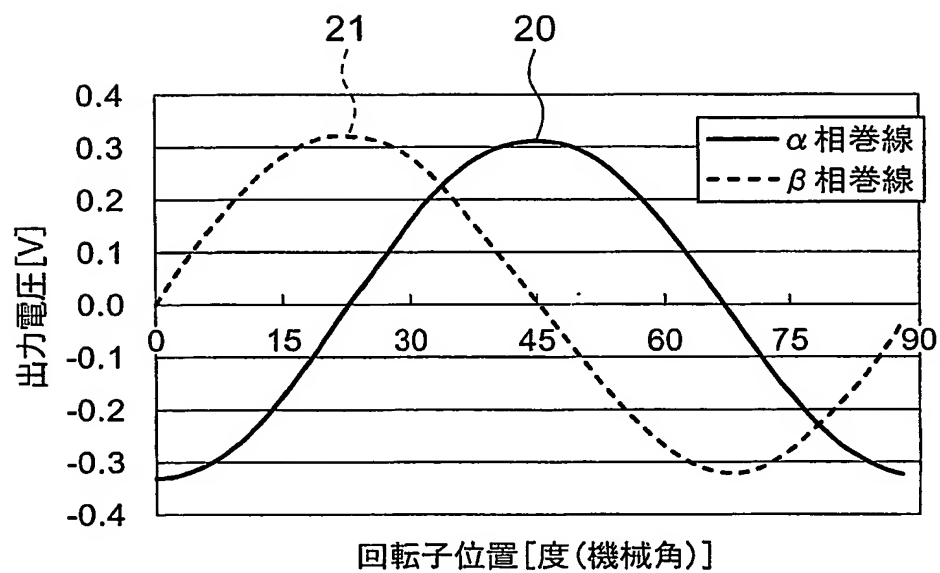


図 59

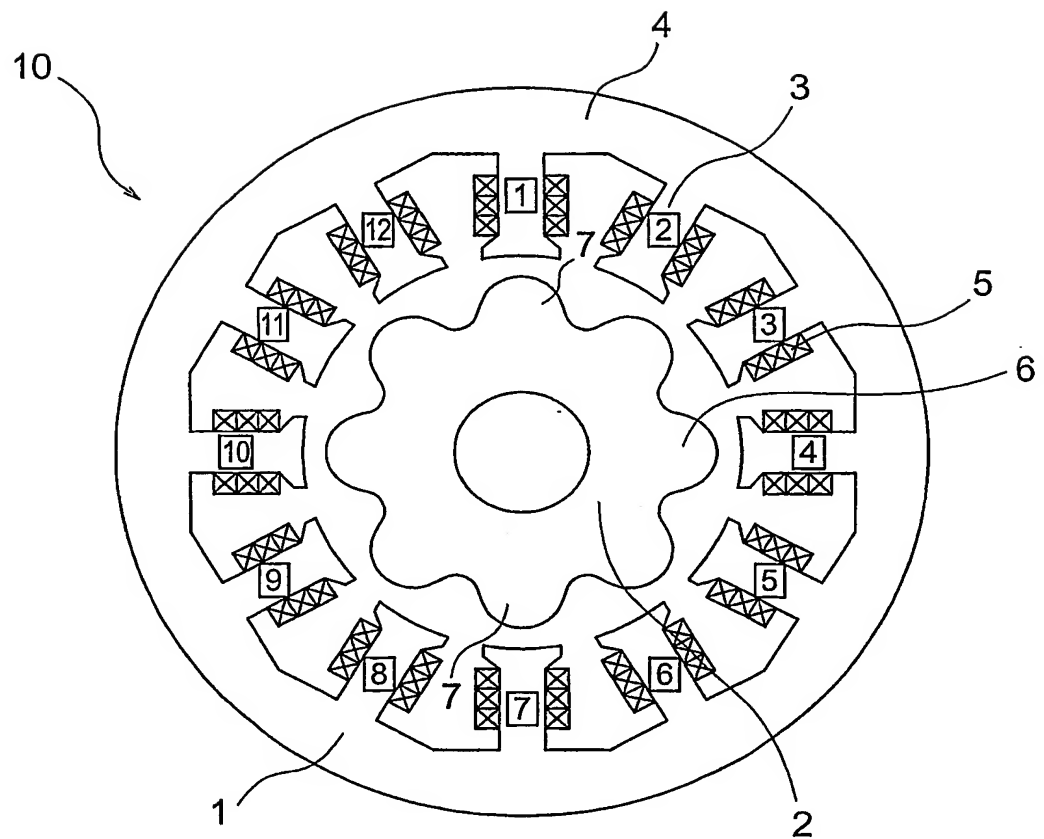


図 60

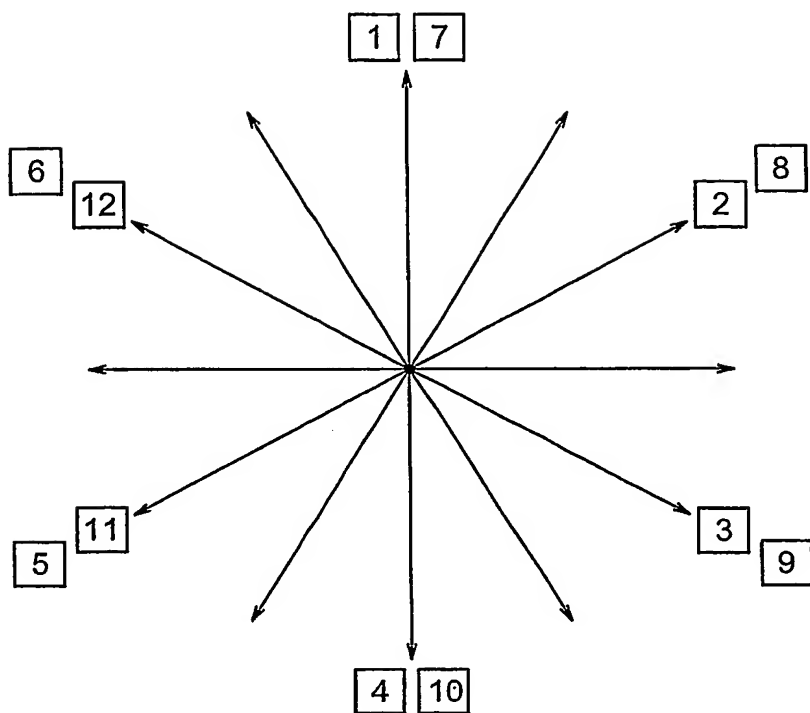
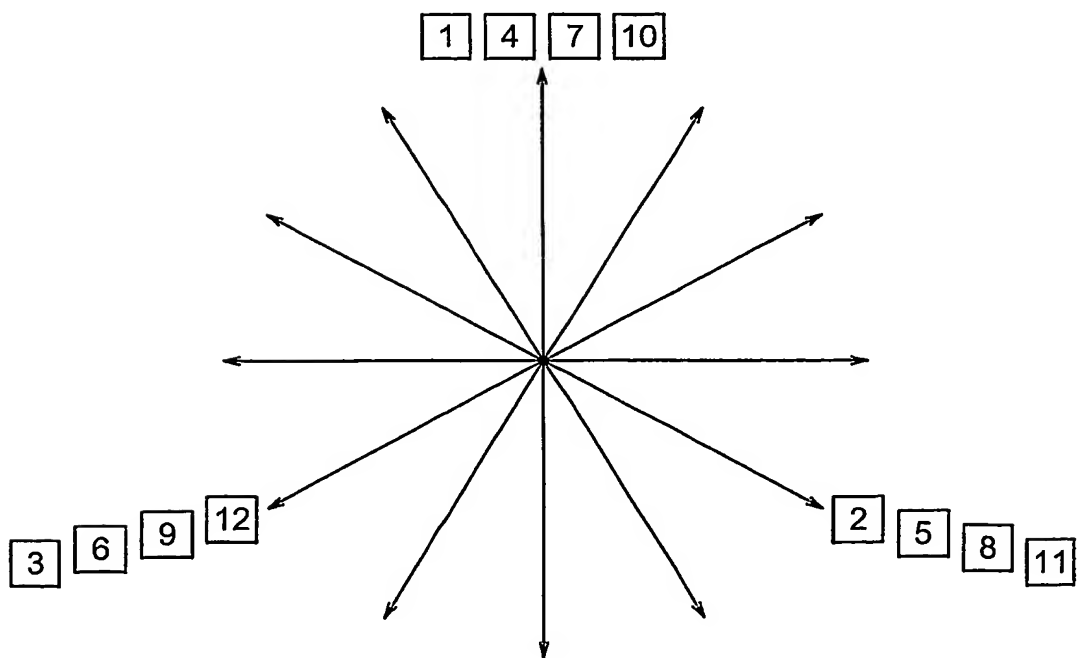


図 61



3 4 / 4 1

図 6 2

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0
U相巻線	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V相巻線	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0
W相巻線	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0

図 6 3

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0
U相巻線	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
V相巻線	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0
W相巻線	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0

図 6 4

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0
U相巻線	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
V相巻線	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0
W相巻線	0.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0

図 6 5

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	1.0
$\alpha$ 相巻線	0.4082	0.0000	0.8165	0.0000	0.4082	0.0000	-0.4082	0.0000	-0.8165	0.0000	-0.4082	0.0000
$\beta$ 相巻線	0.7071	0.0000	0.0000	0.0000	-0.7071	0.0000	-0.7071	0.0000	0.0000	0.0000	0.7071	0.0000

図 6 6

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0
$\alpha$ 相巻線	0.4082	0.4082	0.8165	0.8165	0.4082	0.4082	-0.4082	-0.4082	-0.8165	-0.8165	-0.4082	-0.4082
$\beta$ 相巻線	0.7071	0.7071	0.0000	0.0000	-0.7071	-0.7071	-0.7071	-0.7071	0.0000	0.0000	0.7071	0.7071

図 6 7

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0	1.0	1.0	-1.0	-1.0
$\alpha$ 相巻線	0.4082	-0.4082	0.8165	-0.8165	0.4082	-0.4082	-0.4082	0.4082	-0.8165	0.8165	-0.4082	0.4082
$\beta$ 相巻線	0.7071	-0.7071	0.0000	0.0000	-0.7071	0.7071	-0.7071	0.7071	0.0000	0.0000	0.7071	-0.7071

図 6 8

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	50	50	-50	-50	50	50	-50	-50	50	50	-50	-50
$\alpha$ 相巻線	61	0	122	0	61	0	-61	0	-122	0	-61	0
$\beta$ 相巻線	106	0	0	0	-106	0	-106	0	0	0	106	0

図 6 9

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	50	50	-50	-50	50	50	-50	-50	50	50	-50	-50
$\alpha$ 相巻線	61	61	122	122	61	61	-61	-61	-122	-122	-61	-61
$\beta$ 相巻線	106	106	0	0	-106	-106	-106	-106	0	0	106	106

図 7 0

テース 番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
励磁巻線	50	50	-50	-50	50	50	-50	-50	50	50	-50	-50
$\alpha$ 相巻線	61	-61	122	-122	61	-61	-61	61	-122	122	-61	61
$\beta$ 相巻線	106	-106	0	0	-106	106	-106	106	0	0	106	-106

図 7 1

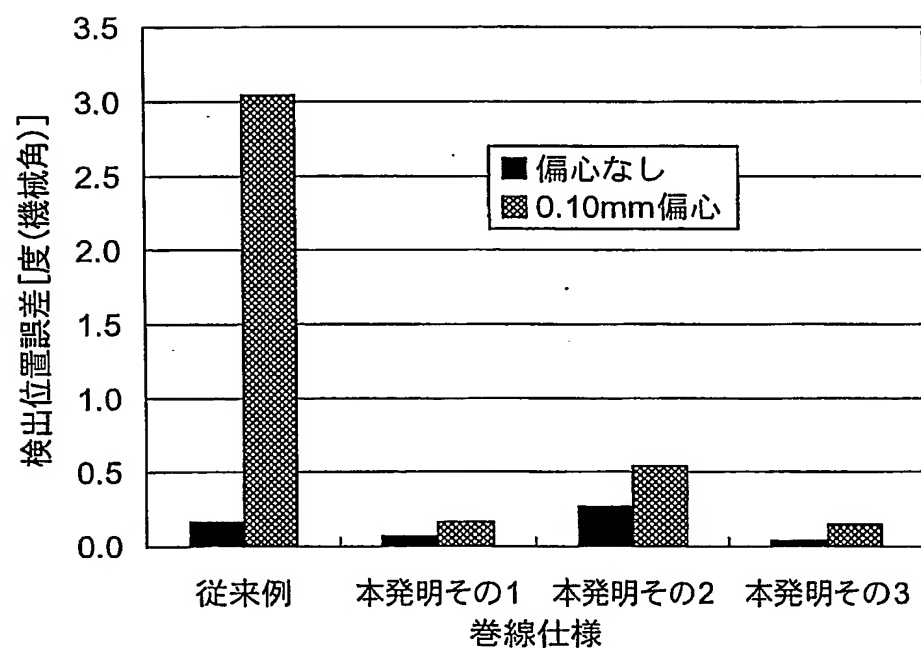


図 72

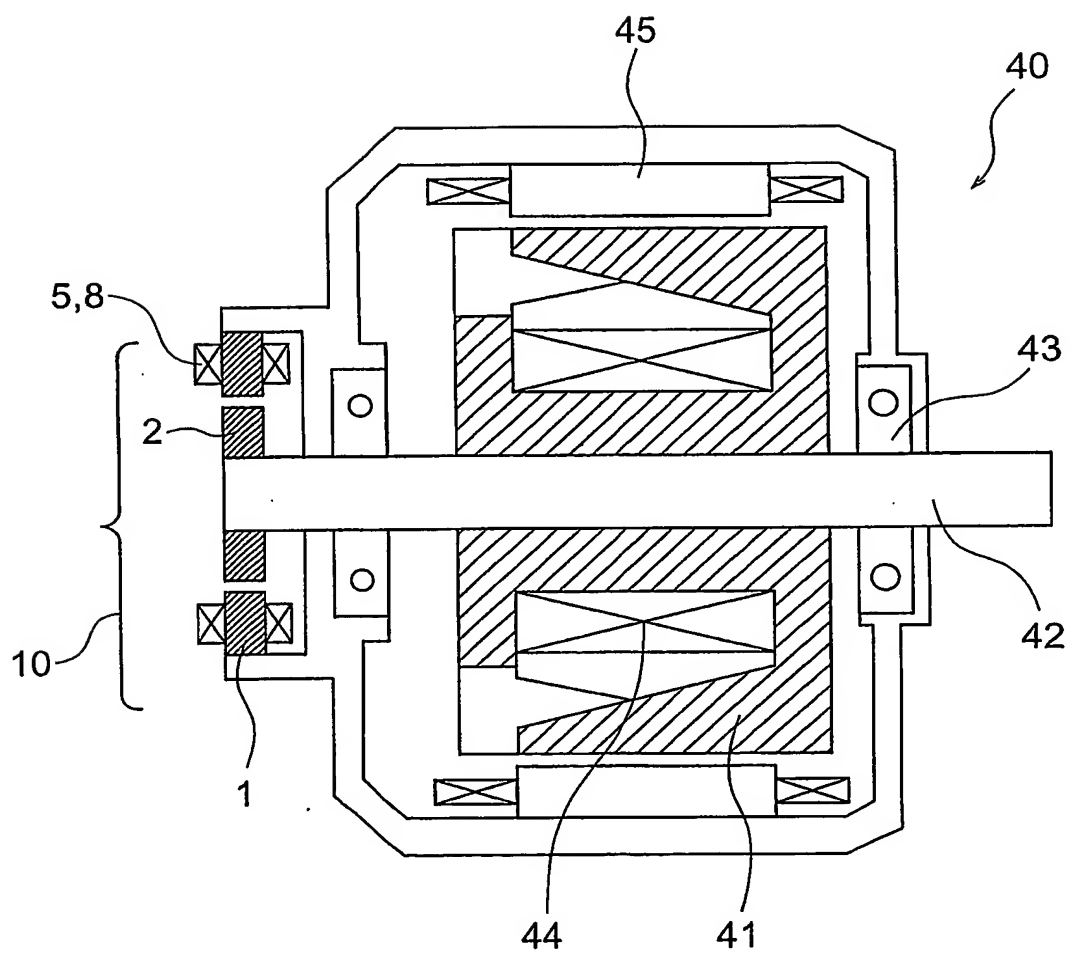


図 7 3

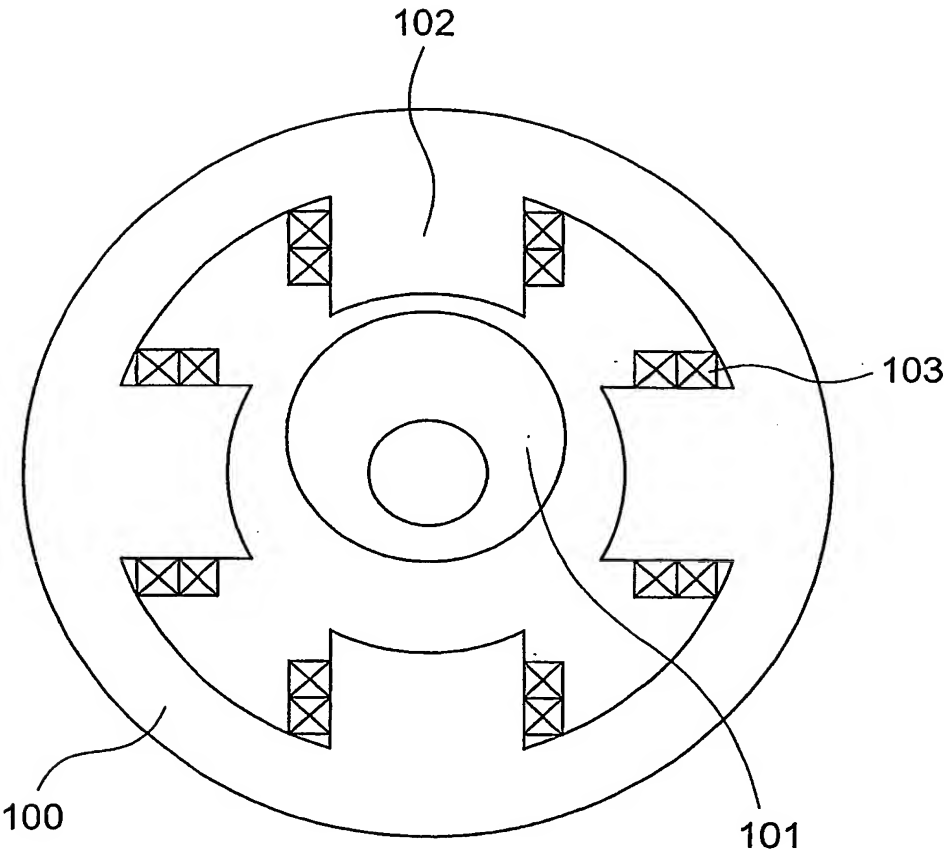
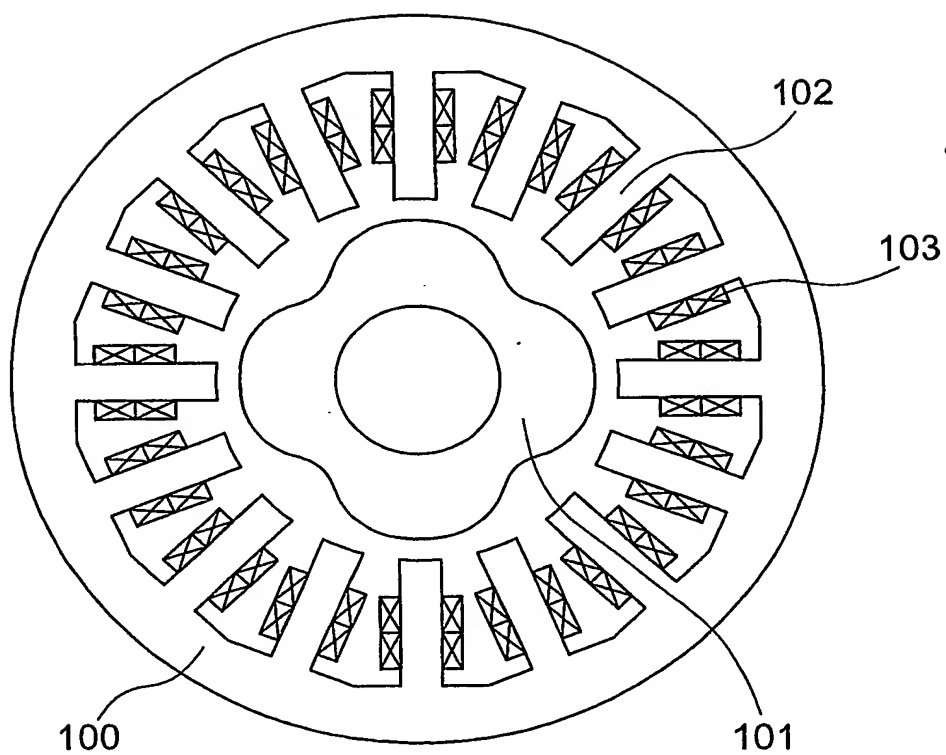


図 74



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/04779

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> G01D5/245

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> G01D5/245

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 595448 A (TAMAGAWA SEIKI KABUSHIKI KAISHA), 04 May, 1994 (04.05.94), Full text; all drawings & JP 6-229780 A & DE 69303252 C	1-9
A	US 5446966 A (Akira ISHIZAKI), 05 September, 1995 (05.09.95), Full text; all drawings & JP 6-213614 A	1-9
A	US 4631510 A (Powerton, division of Contraves Goerz Corp.), 23 December, 1986 (23.12.86), Full text; all drawings (Family: none)	1-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
15 July, 2003 (15.07.03)

Date of mailing of the international search report  
29 July, 2003 (29.07.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/04779

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 59-56859 A (Yaskawa Electric Corp.), 02 April, 1984 (02.04.84), Full text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 49-124508 A (Yaskawa Electric Corp.), 28 November, 1974 (28.11.74), Full text; all drawings (Family: none)	1-9

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC).)

Int. Cl<sup>7</sup> G01D5/245

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01D5/245

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	EP 595448 A (TAMAGAWA SEIKI KABUSHIKI KAISHA) 1 994.05.04, 全文, 全図&US 5486731 A &JP 6-229780 A&DE 69303252 C	1-9
A	US 5446966 A (Akira Ishizaki) 1995.09.0 5, 全文, 全図&JP 6-213614 A	1-9
A	US 4631510 A (Powerton, division of Contraves Goe rz Corporation) 1986.12.23, 全文, 全図 (ファミリー なし)	1-9

☒ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15.07.03

国際調査報告の発送日

29.07.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

井上昌宏



2F

9504

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 59-56859 A (株式会社安川電機製作所) 1984.04.02, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-9
A	J P 49-124508 A (株式会社安川電機製作所) 1974.11.28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-9